VGC

G. DOUHET
Capitano di S. M.

CENNO SOMMARIO
SULLO
STATO ATTUALE DELL'ELETTROTECNICA

SERIE DI CONFERENZE
tenute agli Ufficiali del Presidio di Genova nell'inverno 1903-1904.

TORINO
S. LATTES & C., Librai-Editori
Via Garibaldi, N. 8 (piazza Castello)

Firenze: R. Bemporad e Figlio
1905

1. Electric engineering, 1905

SND

CENNO SOMMARIO

SULLO

STATO ATTUALE DELL'ELETTROTECNICA


engineering, 1905

G. DOUHET
Capitano di S. M.

CENNO SOMMARIO

SULLO

TO ATTUALE DELL'ELETTROTECNICA

SERIE DI CONFERENZE

tenute agli ufficiali del presidio di Genova nell'inverno 1903-1904.

TORINO
S. LATTES & C., Librai-Editori
Via Garibaldi, 3 (piazza Castello)

Firenze: R. Bemporad e Figlio

1905

Torino — Stabilimento Tipografico VINCENZO BONA. (9864)

Questo modesto lavoro dedico al signor Generale Cerruti ed a tutti quegli ufficiali, per merito dei quali esso potè giungere all'onor della stampa.

G. Douhet.

PREMESSA

In breve volgere d'anni lo studio e le applicazioni pratiche dei fenomeni elettrici hanno progredito con così rapido crescendo, che la magica parola *Elettricità* si è imposta e si impone continuamente alla nostra eccitata immaginazione.

Svincolato da quell'empirismo, nel quale era costretto dal suo stesso carattere oscuro e misterioso, lo studio dell'elettricità e dei suoi fenomeni è entrato trionfalmente, da circa un secolo, nel campo delle scienze esatte ed ha preso in questi ultimi venti anni il nome di: Elettrotecnica.

Noi tutti ricordiamo i famosi esperimenti che ci colpirono nella nostra giovinezza per quel non so che di strano e di meraviglioso che ne formava la caratteristica; ora quei fenomeni ci appaiono ben misera cosa di fronte alle sorprese di cui ci fu man mano larga l'elettricità, di fronte alle grandiose applicazioni che essa venne svolgendo attorno a noi.

Attualmente lo studio dell' Elettrotecnica si è ritratto dal gabinetto dell'esperimentatore al tavolo del pensatore; dal gabinetto i fenomeni semplici vengono trasportati nel campo fisico-

matematico, ove fruttificano le conseguenze più importanti e più pratiche; molte volte la scienza prevede e misura i fenomeni che l'esperienza conferma.

Il rapido succedersi dei meravigliosi portati dell'elettrotecnica ci ha quasi corazzati contro l'emozione delle nuove sorprese che essa prepara nella quiete operosa dei gabinetti e nel misterioso lavorìo delle eccelse menti che di essa si occupano; ma per molti di noi, che cure diverse e varie hanno impedito di seguire lo sviluppo di questa nuova scienza con noi cresciuta, tutta questa rigogliosa fioritura di novità appare come un inestricabile inviluppo di una sconosciuta vegetazione in cui ogni fiore ha un nome barbaro e nuovo.

È quindi con vivo piacere che, altamente onorato dal gradito incarico ricevuto dal Signor Generale Cerruti, nostro comandante di Divisione, imprendo ad accompagnarvi in una rapida gita attraverso il campo dell'elettrotecnica.

Bene compreso del mio còmpito, che non consiste nell'esporre un arido corso scientifico, io cercherò di mantenermi sempre sulle linee generali, evitando tutto ciò che potrebbe sapere di troppo tecnico, limitandomi ad esporre le cose come sono, senza voli astrusi, senza ostiche formule, pianamente e semplicemente come in amichevole conversazione, lieto se sarò riuscito a dissipare qualche punto oscuro nella mente dei miei benevoli ascoltatori, ai quali chiedo, prima d'entrare nel vivo dell'argomento, venia nel caso non riuscissi sempre ad ottenere lo scopo prefissatomi.

Programma. — Il campo dell'elettrotecnica è molto vasto e noi lo percorreremo di corsa, arrestandoci soltanto nei punti più interessanti e più salienti.

Vedremo da principio le leggi generali sulle quali si basano i fenomeni elettrici e le relazioni fondamentali che corrono fra di esse. Vedremo quindi come si generi l'energia elettrica nelle

sue varie forme (alternatori, dinamo); come le varie forme che essa assume si possano fra loro scambiare (trasformatori, convertitori); come si eseguisca il trasporto dell'energia elettrica a distanza e come la si possa conservare (accumulatori). Prodotta e trasportata, vedremo come la si utilizzi (motori, trazione elettrica, luce, calore, azioni elettrochimiche); come la si misuri (contatori); e finiremo con una rapida punta nel campo dell'alta elettricità, nella regione eterea delle oscillazioni elettromagnetiche (radiotelegrafia).

I.

Quantità e fenomeni elettrici.

L'elettricità. — Nel corso di questa nostra conversazione parleremo di elettricità, di magnetismo, di correnti elettriche, di fluidi magnetici, ecc.; e ne vedremo i fenomeni derivanti, ma dovremo sempre arrestarci dinanzi alla domanda: che cosa è l'elettricità, il magnetismo, ecc.

L'uomo non può, in genere, penetrare colla sua mente nell'intimo delle cose, non può giungere che ad apprezzare ciò che colpisce direttamente i proprî sensi e perciò noi non possiamo che formulare delle ipotesi circa l'intima essenza delle forze della natura, mentre, fino ad un certo punto, possiamo apprezzare i fenomeni che da esse forze scaturiscono.

Newton ci dette le leggi della gravitazione universale, leggi che regolano i moti dei mondi, ma nessuno, forse, potrà mai dirci che cosa sia la gravità.

Così noi conosciamo, almeno in parte, i fenomeni elettrici e quelli magnetici, li misuriamo e li determiniamo con leggi, ma non possiamo penetrare con sicurezza nell'intima loro essenza; ci sono, è vero, delle ipotesi, ma esse valgono solo in quanto spiegano alcuni fenomeni, e però noi non ci interesseremo di esse che in via tutt'affatto incidentale.

Potenziale elettrico. — Prendiamo un apparecchio molto semplice: una suoneria elettrica. Esso apparecchio è formato da una pila, un campanello elettrico, un bottone e da una certa quantità di filo metallico rivestito da un involucro isolante. Riunite le parti dell'apparecchio, noi sappiamo che il campanello suona se esercitiamo una pressione sul bottone. Sappiamo pure che, premendo il bottone, non facciamo altro se non che chiudere ciò che si dice il *circuito elettrico,* che è interrotto allorchè il bottone è in riposo.

Diciamo allora che il campanello suona per effetto della corrente elettrica che passa nel filo e che tale corrente è generata dalla pila.

Prendiamo ora semplicemente la pila e la pila più semplice: un bicchiere contenente acqua acidulata nella quale siano immersi, senza venire a contatto, un pezzo di zinco ed un pezzo di rame provveduti ognuno di una appendice di filo metallico.

Riunendo le estremità di questi due fili chiudiamo i poli della pila su di un circuito e sappiamo che per esso passa una corrente elettrica; di fatto, se in tale circuito fosse inserito un campanello elettrico questo suonerebbe.

Quando invece il circuito è aperto non vi ha corrente; questa è quindi determinata dal fatto della chiusura del circuito; perchè l'unione delle estremità dei due fili dia luogo al fenomeno. è necessario che dette estremità si trovino in speciali condizioni elettriche.

Si dice che fra i due poli della pila esiste *una differenza di potenziale* oppure che la pila genera *una forza elettromotrice.*

Molto difficile riesce definire e dare una idea esatta di che cosa si intenda per differenza di potenziale, e però mi servirò di un paragone abbastanza calzante.

Supponiamo di avere (Tav. I, fig. 1) due recipienti, posti sullo stesso piano orizzontale, contenenti dell'acqua allo stesso livello e riuniti mediante un tubetto di gomma portante un rubinetto con chiavetta *C.*

Finchè i due recipienti si tengono allo stesso livello possiamo aprire il rubinetto senza che nessuna corrente d'acqua passi pel tubetto che li riunisce. Così se noi nella pila non mettessimo l'acqua acidulata nessuna corrente passerebbe chiudendo il cir-

cuito perchè non avverrebbe nessuna reazione chimica fra i due metalli; nel sistema dei due recipienti *allo stesso livello* non vi è corrente d'acqua, non vi è corrente elettrica riunendo con un circuito due punti fra i quali *non esista differenza di potenziale.* Ma se noi solleviamo il recipiente A in modo che esso riesca più alto di B avremo ottenuto una differenza di livello e perciò l'acqua contenuta in A' avrà acquistato una certa tendenza a portarsi verso B, e se apriamo il rubinetto avremo effettivamente una corrente nel tubetto. Analogamente, se noi aggiungiamo l'acqua acidulata nella pila, avvengono, fra i due metalli, reazioni chimiche determinate e veniamo ad ottenere ai poli di essa una specie di dislivello elettrico prodotto dalla diversa natura dei due metalli: se riuniamo con un conduttore metallico i due poli della pila avremo il passaggio di una corrente elettrica tendente a ristabilire l'equilibrio, corrente che perciò si porta dal polo di potenziale più alto a quello di potenziale più basso.

Questo dislivello elettrico, questa differenza di potenziale, si chiama anche forza elettromotrice ed è di fatto una forza che tende a produrre una corrente elettrica. Si comprende come il verso di questa forza debba essere nello stesso senso della corrente che produrrebbe e cioè vada dal potenziale più alto al più basso, nella pila dal polo positivo al polo negativo.

Il valore della forza elettromotrice è sempre rappresentato da una differenza di potenziale, che è la sola che abbia influenza sulla grandezza della corrente elettrica, poco importando il valore assoluto del potenziale, come appunto per la corrente che passa fra i due vasi A' e B non ha influenza che la differenza di livello fra i vasi stessi e non il livello assoluto di ognuno dei vasi.

Quando si tratta di livelli, si prende per punto di partenza il livello del mare, dando a questo la quota zero: analogamente, nel campo elettrico, si dà il valore zero al potenziale della terra.

I due poli della pila presentano dunque una differenza di potenziale; se prendiamo due conduttori isolati, per esempio due sfere d'ottone sopportate da un sostegno di vetro, e coll'uno tocchiamo, anche istantaneamente, un polo della pila e coll'altro l'altro polo, avremo che i due conduttori assumono e conservano, essendo isolati, lo stesso potenziale del polo della pila rispetti-

vamente toccato e cioè i due conduttori vengono a caricarsi l'uno di elettricità positiva, l'altro di elettricità negativa e si trovano a presentare fra essi una differenza di potenziale.

La quantità (1) di elettricità necessaria per caricare così un conduttore è molto piccola e se tocchiamo le due sfere con un filo metallico passa per questo filo una corrente elettrica istantanea e molto piccola, che ristabilisce immediatamente l'equilibrio elettrico.

Questi due conduttori si trovano perfettamente nello stesso caso in cui si trovano i due recipienti A' e B, la corrente cessa non appena il vaso A' è vuoto, colla differenza che nel campo elettrico le cose si fanno molto più presto e che la capacità elettrica (1) dei conduttori è piccolissima.

---

(1) Per formarci un'idea di che cosa si intenda per *quantità di elettricità* è meglio ricorrere ad un paragone che non ad una definizione astratta. Abbiamo già una vaga idea della corrente elettrica come di qualche cosa che passa in un filo metallico per analogia ad una corrente d'acqua che passa in un tubo. Ciò che passa nel filo è quel non so che da noi chiamato elettricità e questo non so che noi siamo portati ad immaginarcelo concreto come appunto ci appare concreta la corrente d'acqua passante nel tubo. Ora, attraverso ad una sezione del tubo, in un certo periodo di tempo, passa una certa quantità d'acqua; attraverso ad una sezione del filo passa, in un dato tempo, una certa *quantità di elettricità*.

Un recipiente qualunque possiede una certa *capacità* e cioè è capace di contenere una data quantità di liquido; un conduttore isolato è capace di contenere una certa quantità di elettricità e tale proprietà prende il nome di *capacità elettrica*.

Se riempiamo d'acqua un recipiente mediante un tubo, la corrente d'acqua nel tubo durerà finchè, attraverso il tubo stesso, non sia passata la quantità d'acqua che rappresenta la capacità del recipiente; analogamente, allorchè *carichiamo* un conduttore (e caricare un conduttore vuol dire quasi riempirlo di elettricità) la corrente elettrica durerà finchè non sia passata, attraverso al filo, la quantità d'elettricità che rappresenta la *capacità elettrica* del conduttore.

Mentre però le capacità dei recipienti di cui possiamo disporre possono essere grandissime in relazione ai tubi coi quali possiamo riempirli, le capacità elettriche dei conduttori sono piccolissime sì che il tempo necessario per caricarli, anche con correnti minime, è estremamente piccolo.

Il concetto esatto della capacità elettrica è più complesso di quanto venne qui esposto, ma per noi questa idea generale è più che sufficiente, tanto più che ben rare volte avremo occasione di intrattenerci su tale questione.

Nella pila, invece, la corrente perdura perchè i due poli ten-
no bensì a ristabilire il proprio equilibrio elettrico, ma le azioni
ttrochimiche che nella pila stessa si svolgono, ristabiliscono
ntinuamente la differenza di potenziale che si mantiene costante,
ne pure si mantiene costante la corrente che va da un polo
'altro finchè altre circostanze non intervengano a produrre
riazioni. Una pila col circuito aperto non lavora, possiede
o la potenzialità di lavorare; una pila col circuito chiuso
'ora, cioè trasforma energia chimica in energia elettrica;
ando il circuito è aperto non si consumano, teoricamente, gli
menti della pila, quando il circuito è chiuso questi elementi
consumano e si consumano tanto più rapidamente quanta più
ttricità producono.

La corrente fornita dalla pila può paragonarsi a quella che
serebbe nel tubo che riunisce il vaso A' con B quando si
ponesse di aggiungere sempre in A' l'acqua che defluisce in B.
La differenza di potenziale, o forza elettromotrice, viene mi-
ata in volts. Un *volt* è appunto presso a poco la differenza
potenziale che si ottiene ai poli di una pila campione *Da-
l* (1).

bbiamo sino ad ora parlato di pile, ma possiamo fare astra-
e da esse ed immaginare due punti qualunque fra i quali
ta una differenza di potenziale, od una forza elettromotrice,
lunque e che tale differenza tenda a mantenersi costante.

) La forza elettromotrice che si ottiene ai poli di una pila varia a se-
la del modo col quale la pila è costituita. Così, p. es., nella pila cam-
e Daniell (zinco, solfato di zinco $D = 1.09$ — rame, solfato di rame
1.16) la forza elettromotrice è di volts 1.068, in altre pile questa forza
romotrice è inferiore ed anche superiore, ma la variazione è sempre
enuta in limiti ristrettti.

unità della f. e., il *volt internazionale*, è rappresentata abbastanza bene,
l'uso pratico, da $\frac{1000}{1434}$ della differenza di potenziale fra i poli di una
voltaica conosciuta sotto il nome di pila Clark, ad una temperatura
5 centigradi, preparata nel modo stabilito da apposito comitato nomi-
dall'Accademia delle Scienze di New-York; preparazione ufficialmente
tata per legge dagli Stati Uniti, ma che è affatto inutile ricordare in
to modesto lavoro.

Quando diciamo che la conduttura aerea dei tramways è a 600 volts, intendiamo dire che la differenza di potenziale fra quel filo e la terra è appunto di 600 volts.

Un passero, che si posi su tale conduttura, si carica, come un conduttore qualunque, a 600 volts; una certa quantità di elettricità passa bensì dal filo al passero, ma essa è talmente piccola da non riuscire sensibile. Riprendendo il volo il passero resta isolato e quindi conserva il suo potenziale di 600 volts, finchè posandosi si scarica sulla terra ritornando al potenziale zero. Lo stesso avverrebbe a un uomo che si appendesse alla conduttura aerea o la toccasse isolandosi dalla terra; ma se invece un uomo tocca il filo mantenendo un contatto colla terra, riunisce, mediante un circuito, formato dalla sua persona, due punti che si mantengono ad una differenza di potenziale di 600 volts; una forte corrente elettrica attraversa il corpo del malcapitato, che può rimanere fulminato sul posto.

Corrente elettrica. — Abbiamo detto che se riuniamo con un corpo conduttore due punti fra i quali esista una differenza di potenziale vi ha la formazione di una corrente elettrica che va dal punto di potenziale più alto a quello di potenziale più basso. Noi diciamo che passa una corrente elettrica, perchè avvengono allora certi fenomeni che in altre condizioni non si verificano, come diciamo che esiste fra due punti una differenza di potenziale quando, riunendoli con un conduttore, si manifesta una corrente elettrica.

Per misurare l'intensità della corrente elettrica si misurano gli effetti che essa produce; si è stabilito che l'unità di misura dell'intensità di corrente è quella corrente capace di produrre in un dato tempo un dato effetto. L'unità di misura dell'intensità di corrente elettrica è detta *ampère*. Un *ampère* è rappresentato, per la pratica, dalla corrente che traversando una soluzione di azotato d'argento nell'acqua deposita 1118 milionesimi di gramma d'argento al 1″.

Quando noi abbiamo i due recipienti A' e B ad una certa differenza di livello si comprende facilmente come la quantità d'acqua che nell'unità di tempo passa da A' in B sia tanto maggiore quanto più grande è la differenza di livello e quanto più

largo è il tubo, ossia quanto più facilmente il tubo lascia passare l'acqua.

Lo stesso avviene nel campo elettrico. Quanto più grande è la differenza di potenziale fra i due punti, tanto più grande è la tendenza fra i due punti a rimettersi in equilibrio elettrico e cioè la tendenza a stabilire fra di essi una corrente elettrica. Questa a sua volta sarà tanto più facilmente stabilita quanta minore resistenza troverà nel percorrere il conduttore che unisce i detti punti. L'intensità della corrente è direttamente proporzionale alla differenza di potenziale, o forza elettromotrice, ed inversamente proporzionale alla resistenza del conduttore; l'intensità di corrente è uguale alla differenza di potenziale divisa per la resistenza del conduttore. Quindi chiamando i l'intensità di corrente, e la differenza di potenziale ed r la resistenza, potremo scrivere la formuletta che concreta la relazione legante queste tre qualità:

$$i = \frac{e}{r}.$$

Resistenza. — La resistenza di un conduttore varia a seconda della materia di cui è costituito ed a seconda della sua forma. Come non vi è nessun corpo che abbia una resistenza nulla, non ve ne è nessuno che abbia una resistenza infinita; perciò non esiste nessun corpo perfettamente conduttore, come non ne esiste nessuno perfettamente non conduttore o dielettrico. In pratica però chiamiamo conduttori i corpi che hanno una leggera resistenza, e fra questi primeggia il rame puro; non conduttori quelli che hanno una grande resistenza, e fra questi primeggiano il vetro, la gomma, la seta, l'aria, ecc.

In genere i conduttori sono foggiati a fili, e fra due fili dello stesso metallo la resistenza varia in ragione diretta della lunghezza dei fili ed inversa della sezione dei fili stessi.

Un conduttore quindi presenta tanto minor resistenza quanto è più corto e più grosso.

L'unità di resistenza è chiamata *ohm*. Un *ohm* è la resistenza di quel conduttore che posto fra due punti aventi la differenza di potenziale di 1 volt lascia passare la corrente di 1 ampère.

Energia elettrica. — Allorchè appoggiamo il dito sul bottone del campanello elettrico, il campanello suona. Noi diciamo che è la corrente elettrica che lo fa suonare, ma per suonare, il campanello ha bisogno di vincere alcune piccole resistenze, di compiere infine un lavoro; la corrente produce in questo caso un lavoro meccanico. Ma in natura nulla si crea, ma solo si trasforma; nel nostro caso trasformiamo, da prima, l'energia chimica della pila in energia elettrica, dopo, questa, in meccanica.

Se riuniamo con un conduttore due punti che si mantengono ad una certa differenza di potenziale, sappiamo che nel conduttore passa una corrente la cui intensità è uguale alla differenza di potenziale divisa per la resistenza del conduttore. Fra i due punti e nel conduttore si consuma una certa quantità di energia elettrica, la misura della quale è data dal prodotto della differenza di potenziale fra i due punti per l'intensità di corrente che passa nel conduttore. Misurando la differenza di potenziale in volts e la corrente in ampères, il prodotto di queste quantità dà l'energia elettrica misurata in *watts* (il watt è l'unità d'energia elettrica).

Si comprende come l'energia di un watt possa ottenersi con una differenza di potenziale di 1 volt ed una corrente di 1 ampère, colla differenza di potenziale di $^1/_2$ volt e colla corrente di 2 ampères, ecc.

La stessa energia elettrica può quindi ottenersi in un numero infinito di modi variando convenientemente la differenza di potenziale e la corrente.

La differenza di potenziale chiamasi anche tensione, quindi potremo dire che a parità di energia quanto più grande è la tensione tanto più piccola è la corrente.

Riprendiamo la suoneria elettrica (Tav. I, fig. 2) e supponiamo di tener chiuso il bottone *B* e distaccato tutto il circuito dalla pila *S*.

Il circuito è costituito da un conduttore che è composto dal filo che da *D* va al bottone *B*, dal bottone *B* al campanello *C*, dal filo che costituisce l'apparecchio motore del campanello, dal filo che va dal campanello all'estremo *A*. Tutto questo conduttore rappresenta una certa resistenza.

La pila S ci fornisce due punti N e P fra i quali esiste una differenza di potenziale, una tensione. Se noi poniamo a contatto le estremità A e D del conduttore rispettivamente coi poli N e P della pila, avremo una corrente che percorre tutto il circuito, la cui intensità è uguale alla differenza di potenziale, data dalla pila, divisa per la resistenza del circuito. L'energia consumata nel circuito è uguale alla differenza di potenziale per l'intensità di corrente che passa nel circuito; tale relazione possiamo esprimere colla formola:

$$W = ei.$$

In cui W rappresenta l'energia, e ed i rispettivamente la tensione e l'intensità di corrente.

L'operazione fatta mettendo in contatto le estremità del circuito con i poli della pila si esprime, in generale, dicendo che *si inserisce una resistenza* (il circuito), o che *si applica una differenza di potenziale agli estremi di una resistenza.*

Abbiamo detto che l'energia si misura in watts, mille watts costituiscono il *chilowatt*, ed il *chilowatt* è circa un cavallo-vapore ed un terzo:

$$1\ Kw = 1.36\ HP.$$

Supponiamo ora (Tav. I, fig. 3) di riunire i poli di una pila S con un conduttore R.

Naturalmente passa una corrente e si consuma una energia. Che cosa succede di questa energia? Non avviene nessun movimento, nessuna alterazione chimica nel filo R; l'energia si trasforma in calore.

Vediamo subito una applicazione pratica di questo fenomeno: le lampadine elettriche ad incandescenza. L'organo essenziale di una lampadina è costituito da un filamento di carbone R (Tav. I, fig. 4) che presenta una certa resistenza. Se noi applichiamo agli estremi C e D una differenza di potenziale conveniente, cioè se mettiamo questi due punti a contatto di due punti che si trovino ad una conveniente differenza di potenziale, passerà nel filamento una corrente, una certa quantità di energia elettrica si trasformerà in calore, il filamento di carbone si riscalderà e diventando incandescente emetterà luce.

Caduta di potenziale. — Ritorniamo ad esaminare la nostra pila (fig. 3) avente i poli riuniti da una resistenza R.

Attraverso ad ogni sezione fatta in un punto qualunque del conduttore R passa una stessa quantità di elettricità ossia in ogni punto del conduttore vi è la stessa intensità di corrente elettrica. Vediamo invece che cosa succede del potenziale.

Noi sappiamo che ai poli P ed N della pila, si conserva, per effetto delle azioni chimiche che avvengono fra i due metalli, una differenza costante di potenziale. In un punto qualunque A del conduttore R le due sezioni finitime del filo, che combaciano l'una coll'altra, debbono avere lo stesso potenziale, ora questo fatto non può avvenire se i potenziali delle sezioni successive del filo non vanno decrescendo da P verso A, ossia se non avviene da P verso A ciò che si dice una *caduta di potenziale.* È la stessa cosa che avviene nel tubetto (Tav. I, fig. 1) che unisce i due vasi A' e B andando da A' verso B.

In ogni sezione del tubo passa la stessa quantità d'acqua, ma la differenza di livello è tanto minore quanto più procediamo da A' verso B.

Ora noi abbiamo un mezzo semplicissimo per conoscere la caduta di potenziale; di fatto sappiamo che $i = \frac{e}{r}$, ossia che l'intensità di corrente i è uguale alla differenza di potenziale e divisa per la resistenza r; possiamo facilmente ricavare:

$$e = ri$$

ciò che significa che la caduta di potenziale derivante da un conduttore di resistenza r in cui passi una corrente i è uguale al prodotto della resistenza per la corrente.

Supponiamo di avere la solita pila S (Tav. I, fig. 5) i cui poli siano uniti ad un circuito formato da un filo ND, da una spirale DE e da un filo EP.

Noi conosciamo la forza elettromotrice della pila (differenza di potenziale ai poli) e sia e (volts), la resistenza del filo ND sia a, la resistenza della spirale DE sia b, la resistenza del filo EP sia c.

La resistenza totale del circuito è perciò $a + b + c$; allora l'intensità di corrente sarà:

$$i = \frac{e}{a+b+c}.$$

La caduta di potenziale fra il punto P ed il punto E sarà:

$$c\,i = \frac{c\,e}{a+b+c},$$

uella fra i punti E e D

$$b\,i = \frac{b\,e}{a+b+c},$$

uella fra i punti D ed N

$$a\,i = \frac{a\,e}{a+b+c}.$$

La caduta di potenziale fra i punti P ed N deve essere la omma delle tre cadute successive; sommando infatti queste tre adute avremo:

$$\frac{c\,e}{a+b+c} + \frac{b\,e}{a+b+c} + \frac{a\,e}{a+b+c} = \frac{e(a+b+c)}{a+b+c} = e$$

caduta di potenziale fra i due poli della pila.

Questo fatto è dei più importanti; noi vediamo che fra i punti E e D vi è una differenza di potenziale diversa da quella che esiste fra P ed N, cioè diversa da quella che vi è ai poli della pila.

Se noi invece distaccassimo la spirale DE e tenessimo aperto il circuito in D e in E, fra questi due punti vi sarebbe ancora la stessa differenza di potenziale che esiste ai poli della pila perchè non si produrrebbe alcuna corrente. Stabilendo la corrente avviene la caduta di potenziale proporzionale alla intensità della corrente ed alla resistenza dei fili PE ed ND.

Lo stesso fenomeno avviene nelle condutture elettriche che trasportano l'energia e la distribuiscono. Nell'officina vi è una macchina la quale produce ai suoi poli P ed N una certa differenza di potenziale, a questi poli sono uniti i fili di trasmissione ND' e PE' (Tav. I, fig. 6).

Finchè nessuna resistenza unisce i due fili non passa corrente ed i due fili si trovano alla stessa differenza di potenziale dei poli della macchina in tutti i punti. Ma se noi inseriamo una resistenza R avviene subito la caduta di potenziale fra N e D, fra E e P, caduta tanto più grande quanto più intensa è la corrente che passa nel circuito e quanto più lunghi sono i tratti ND e PE. Perciò la resistenza R posta nella posizione R' produrrà naturalmente una caduta più grande di potenziale. La caduta del potenziale è quindi tanto maggiore quanto più lontano noi vogliamo portare l'energia elettrica e quanto maggior resistenza presentano i fili conduttori.

Abbiamo visto che:

$$e = r\,i$$

e che d'altra parte l'energia W prodotta da una corrente i fra due punti a tensione e è:

$$W = e\,i,$$

sostituendo ad e il suo valore $r\,i$ avremo:

$$W = r\,i^2.$$

Che ci dice essere l'energia elettrica uguale alla resistenza del conduttore moltiplicata pel quadrato dell'intensità di corrente che lo attraversa.

Domando venia di avere qui citato due formulette, saranno le uniche in questa esposizione: esse sono del resto indispensabili per riassumere le leggi fondamentali delle correnti elettriche, e, nella loro semplicità aiutano molto l'intendimento dei principali fenomeni elettrici d'ordine pratico.

Abbiamo così visto, ed è questa certo la parte più noiosa, che cosa significhi potenziale, corrente, resistenza, energia elettrica (1). Data l'importanza di tali idee fondamentali, mi si permetterà di riepilogare con un esempio.

---

(1) E pur troppo, in questa parte, avendo sopratutto desiderato di non trascendere in un eccessivo tecnicismo, ho dovuto transigere sia sulla precisione delle definizioni enunciate sia nella rigidità del metodo espositivo. Ripeto, con questa mia chiacchierata io non ho avuto la pretensione di

Supponiamo di avere in un luogo alpestre un lago chiuso (Tav. I, fig. 7), e di potere con un breve canale aprire una comunicazione fra le acque di questo lago e un fondo valle, in modo che aprendo le cataratte del canale, da noi costruito, l'acqua, mediante un salto, cada nella valle sottostante. Teniamo per ora le saracinesche chiuse. L'acqua contenuta nel lago, trovandosi a differente livello dal fondo valle, ha una certa potenzialità di lavoro che non eseguisce, semplicemente perchè le saracinesche sono chiuse.

Una macchina elettrica che produce ai suoi poli una differenza di potenziale od una tensione (ciò che è la stessa cosa) ha pure una certa potenzialità di lavoro che non eseguisce perchè il circuito è aperto.

Tenendo chiuse le saracinesche del canale noi impediamo, mediante una forte resistenza statica, qualsiasi corrente, qualsiasi salto d'acqua.

Tenendo i poli della macchina disgiunti noi interponiamo fra essi una grandissima resistenza elettrica (l'aria); nessuna corrente passa.

Apriamo di poco la saracinesca del canale; noi non facciamo che diminuire alquanto la resistenza che opponevano all'uscita dell'acqua, la quale sgorgherà in copia tanto più grande quanto maggior facilità lascieremo al suo passaggio.

Uniamo i due poli della macchina elettrica con un conduttore, noi non facciamo che diminuire la resistenza elettrica costituita dall'aria, passerà una corrente elettrica tanto più forte quanto minore sarà la resistenza presentata dal conduttore.

Il lavoro che potrà produrre il nostro salto d'acqua sarà, a parità di dislivello, tanto più grande quanta maggior quantità d'acqua nell'unità di tempo sgorgherà dalla saracinesca, oppure a parità di quantità d'acqua, sarà il lavoro tanto più grande, quanto maggiore sarà l'altezza del salto d'acqua.

Nella macchina elettrica il lavoro sarà tanto più grande, a

---

arricchire la letteratura scientifica di un novello trattato, chè allo scopo mi sarebbero mancate le forze, ma ho solamente voluto cercare di tratteggiare, nel modo più piano e meno ostico, quelle poche nozioni elettriche che possono interessare chiunque come cultura generale.

parità di tensione, quanto più grande sarà la corrente
parità di corrente, tanto più grande il lavoro quanto sa
grande la tensione.

Se l'altezza del salto d'acqua è L metri, e se la sua p
è di M litri al 1'' noi diciamo che la sua potenza è di L
logrammetri; nella macchina elettrica se e è la tension
la corrente diciamo che la sua potenza è di ei watts.

Se noi vogliamo trasportare il nostro salto d'acqua a
certa distanza occorrerà costrurre un canale dal lago al
ove vogliamo avere il salto; perchè l'acqua scorra, vince
resistenze di attrito del canale, è necessario dare al fo
questo una certa pendenza, per cui alla fine del canale i
sarà minore di quello che potremmo ottenere vicino al l

Se noi teniamo chiusa la saracinesca allo sbocco del c
l'acqua raggiungerà il livello DC del lago e cioè avremo s
lo stesso dislivello col fondo valle; ma appena apriamo
racinesca l'acqua assumerà un livello DE, presso a poco
lelo al fondo del canale, per cui avremo una caduta di livell

Se noi vogliamo portare lontano l'energia elettrica della
macchina uniamo ai poli due fili. Finchè questi due fili no
uniti da nessuna resistenza i due fili assumono l'identico
ziale dei poli ai quali sono uniti; ma appena si inserisc
resistenza fra i due fili avviene una caduta di potenziale

Apparecchi di misura. — Il potenziale, la corrente, l'e
elettrica si misurano con apparecchi speciali rispettiva
chiamati voltametri, amperometri e wattometri, i quali,
nere, presentano un quadrante sul quale è imperniato un
che, spostandosi su di una graduazione, indica rispettiva
in wolts, in ampères ed in watts la tensione, l'intensità
nergia della corrente alla quale l'istrumento viene applic

Nei gabinetti di misura esistono poi apparecchi, per la
delle quantità elettriche, di una sensibilità grandissima e
precisione estrema, apparecchi che rivelano correnti di in
quasi infinitesima e che servono per lo studio esatto de
meni elettrici e per la taratura degli istrumenti di misur
merciali.

II.

Produzione dell'energia elettrica.

Apparecchi elettrogenici. — Non è esatto dire produzione di energia elettrica.

Noi non possiamo produrre nulla, possiamo solo trasformare e perciò più propriamente dovrebbe dirsi trasformazione di altre energie in energia elettrica.

Tutte le energie che possediamo in natura sono teoricamente trasformabili le une nelle altre, praticamente però riesce più comoda e più economica la trasformazione di determinate energie in altre.

Così le energie che più facilmente si trasformano in elettriche sono quelle chimiche e quelle meccaniche.

Gli apparecchi che servono a questo scopo sono detti apparecchi *elettrogenici* ed, a seconda delle energie impiegate, si dividono in due grandi classi: pile e macchine elettrogeniche.

Pile. — Noi abbiamo in natura dei corpi che, nelle condizioni normali, stanno in vicinanza l'uno dell'altro senza reagire l'uno sull'altro; per es., il carbone e l'ossigeno dell'aria. Gli stessi corpi messi a contatto, in speciali condizioni, reagiscono l'uno

sull'altro, trasformando l'energia chimica propria in altra energia. Così appunto il carbone riscaldato si combina coll'ossigeno, si ossida, volgarmente brucia, cioè dà luogo ad un corpo composto, ossido di carbonio, trasformando la propria energia chimica in energia calorifica. Altri corpi posti in altre speciali condizioni trasformano la propria energia chimica in energia elettrica. Così per es., un pezzo di rame ed un pezzo di zinco, riuniti mediante un conduttore, non reagiscono nè producono energia elettrica finchè non si immergono, senza toccarsi, in un bagno di acqua acidulata. Un apparecchio che utilizzi una reazione chimica per fornire energia elettrica chiamasi pila.

Di pile ne abbiamo di svariatissimi modelli, ma il principio è sempre lo stesso; esse sono usate solo in apparecchi in cui occorra una piccola energia, giacchè l'energia fornita dalle pile è molto cara in confronto di quella prodotta dalle macchine elettrogeniche.

Noi però poco ci fermeremo su questo genere di apparecchi, accennando solo che essi furono, in ordine di tempo, i primi apparecchi elettrogenici di qualche importanza pratica e che, come tutti sanno, la prima pila fu di un italiano (Volta).

Ricorderemo solo che la forza elettromotrice che può fornire una pila oscilla attorno ad 1 volt, che per avere una forza elettromotrice di un numero superiore di volts è necessario unire le pile in serie, e cioè il polo positivo dell'una col negativo dell'altra; ricorderemo anche che la intensità della corrente che può fornire una pila è relativamente piccola e che dipende essenzialmente dalla grandezza della pila stessa e dai materiali di cui è composta, e che per ottenere quantità più grandi di corrente è necessario riunire le pile in parallelo, ossia tutti i poli positivi insieme ed insieme tutti i negativi.

Macchine elettrogeniche. — Le prime macchine che servirono a produrre, mediante un lavoro meccanico, una certa quantità di elettricità, sono quelle dette macchine elettrostatiche.

Tutte queste erano basate, più o meno, sul principio che soffregando un bastoncino di materia non conduttrice (ceralacca, vetro) questa si elettrizza. Queste macchine che noi abbiamo, nelle loro forme bizzarre, ammirato nei gabinetti di fisica delle

uole della nostra prima giovinezza, sono attualmente usate lo per scopi specialissimi, giacchè esse non forniscono che una antità addirittura piccolissima di elettricità.

Le macchine elettrogeniche attuali si fondano tutte sui feno-eni che avvengono nei conduttori allorchè questi si muovono campi magnetici. (La prima di queste macchine venne inven-ta dal prof. Pacinotti).

Vedremo ora quali siano i fenomeni che avvengono nei con-uttori moventi in campi magnetici; ma prima di tutto sarà ene soffermarci ai campi magnetici.

Campo magnetico. — Sappiamo che una calamita presenta due oli che godono di proprietà diverse, sappiamo pure che fra i oli di due diverse calamite esiste una attrazione se i poli sono ontrari, una repulsione se sono uguali. Così se (Tav. I, fig. 8) met-iamo l'uno di faccia all'altro il polo N di una calamita ed il olo S di un'altra, sappiamo che fra queste due faccie si esercita na mutua attrazione. Noi allora potremo dire che una specie li flusso magnetico corre dalla faccia S della calamita A alla iaccia N della calamita B. Supponiamo che le due faccie delle calamite sieno di superfice uguale e per es., divise in tanti qua-drettini di 1 cm², e che ognuna di queste calamite mandi il suo flusso alla corrispondente. Possiamo rappresentare tale flusso come si rappresenta una forza e cioè con un segmento che abbia la direzione del flusso e sia lungo proporzionalmente alla forza di attrazione rappresentata dal flusso stesso. Allora tutto lo spazio compreso fra le faccie S ed N delle due calamite è at-traversato da tante linee di flusso che hanno tutte la stessa lun-ghezza ed ognuna di esse rappresenta la forza di attrazione che viene esercitata fra i due poli opposti di due calamite della se-zione di 1 cm².

Lo spazio compreso fra le faccie S e N di A e B è un campo magnetico, la direzione del campo è la direzione SN, il verso è, per convenzione, da S ad N, la grandezza della forza attrattiva per ogni cm² di sezione chiamasi intensità del campo.

Noi ci troviamo immersi in un campo magnetico la cui di-ezione è quella dell'ago magnetico della bussola ed il cui verso

è opposto al verso dell'ago magnetico (1), e la cui intensità è piccolissima.

Dopo ciò che abbiamo convenuto possiamo rappresentare un campo magnetico con un semplice segmento AB (Tav. I, fig. 9), il quale ci segna la direzione, il verso e la grandezza della intensità magnetica, e noi intendiamo che di questi segmenti ve ne sia uno ad ogni cm^2 del piano normale a tali segmenti.

Conduttore movente in un campo magnetico. — Supponiamo ora di avere un campo magnetico illimitato rappresentato dalle linee di flusso (Tav. II, fig. 10), introduciamo in questo campo un conduttore costituito da un pezzo rettilineo di filo metallico R (in figura ne è segnata la proiezione normale al foglio), in modo che risulti normale alle linee di flusso. Finchè teniamo fermo il conduttore non avviene nessun fenomeno, ma se muoviamo il conduttore, p. es., dall'alto al basso, si manifesta nel conduttore R una forza elettromotrice in un senso, se lo moviamo dal basso all'alto si manifesta una forza elettromotrice nel senso contrario, e cioè a dire: movendo il conduttore nel campo si manifesta una differenza di potenziale ai suoi estremi, differenza che varia di segno al variare del senso del movimento. La forza elettromotrice che si manifesta nel conduttore è tanto più grande quanto più grande è l'intensità del campo ed il numero di linee di flusso tagliate, nell'unità di tempo, dal conduttore nel suo movimento. Perciò, per avere una grande forza elettromotrice, è necessario che il conduttore R sia lungo (perchè così incontrerà più linee di flusso), che si muova in un piano normale alle linee di flusso, che si muova con grande velocità e che sia grande l'intensità del campo magnetico; se poi vogliamo che la forza elettromotrice non cambi direzione, è necessario muovere il conduttore sempre nello stesso senso.

Occorre assolutamente, per formarsi un'idea delle macchine elettrogeniche, possedere un criterio esatto del fenomeno sopra esposto.

---

(1) Allorchè si rappresenta graficamente una forza (Tav. I, fig. 9), chiamasi *direzione* il prolungamento indefinito XX' del segmento e *verso* il senso nel quale è diretta la forza, nel caso della figura da B verso A.

Per esempio è chiaro che se invece di far muovere il conduttore R (Tav. II, fig. 10) nella direzione RF, lo facciamo muovere, e colla stessa velocità, lungo la direzione RF', la forza elettromotrice generata sarà minore perchè, nell'unità di tempo, taglierà un numero minore di linee di flusso; così se lo facciamo muovere nella direzione RF'', cioè parallelamente al flusso, la forza elettromotrice generata sarà nulla, perchè non taglierà linee di flusso.

Nel movimento del conduttore nel campo magnetico si forma alle estremità del conduttore una differenza di potenziale, per quali reazioni non si sa, ma si dice che è un effetto di *induzione*, e l'effetto è simile a quello che, per azioni elettrochimiche, si produce nella pila. Vediamo però subito che, siccome qui la grandezza della forza elettromotrice generata dipende dalla lunghezza del conduttore, dall' intensità del campo magnetico, e dalla velocità del movimento, noi potremo ottenere una forza elettromotrice qualsiasi impiegando conduttori sufficientemente lunghi, moventisi in campi magnetici sufficientemente intensi, con velocità sufficientemente grandi.

Dicemmo che noi siamo immersi in un campo magnetico: nel campo magnetico terrestre; muovendo quindi un conduttore in direzione normale a questo campo, e cioè normale alla direzione dell'ago magnetico della bussola, dovremo avere una differenza di potenziale agli estremi. Questo fatto si verifica, ma in piccola misura, essendo piccolissima l'intensità del campo magnetico terrestre.

Abbiamo detto che per ottenere una forza elettromotrice diretta sempre nello stesso verso è necessario far muovere il conduttore sempre nello stesso senso. Ciò è praticamente impossibile, perchè occorrerebbero uno spazio ed un movimento di estensione illimitata.

Praticamente è necessario cambiare il senso del movimento ed, in genere, il movimento del conduttore è rotatorio attorno un asse ad esso parallelo.

Supponiamo un tratto di conduttore ab (Tav. II, fig. 11) situato in un campo magnetico e ruotante nel senso della freccia F, con una certa velocità, attorno ad un asse OO' ad esso parallelo. Allorchè il conduttore ab percorre il mezzo giro di destra, muove

dall'alto al basso e perciò avremo la forza elettromotrice diretta, p. es., nel senso della freccia a' b'; quando, continuando, percorre il mezzo giro di sinistra, avremo la forza elettromotrice diretta nel senso contrario, p. es., freccia b'' a'', perchè taglia le linee di flusso dal basso all'alto. Ad ogni mezza rotazione la forza elettromotrice cambia senso.

Nella pila abbiamo visto che la forza elettromotrice è sempre nello stesso senso e cioè il polo positivo è sempre positivo e similmente il negativo; nel conduttore *ab* per mezzo giro il punto *b* rappresenta il polo positivo, nel mezzo giro successivo quello negativo. La pila dà una differenza di potenziale costante, il conduttore una differenza di potenziale, o forza elettromotrice, alternata. Le variazioni, qualunque esse siano, si ripetono ad ogni giro completo che perciò chiamasi *periodo*.

Vediamo ora che cosa succede in un periodo.

Il conduttore *ab* parte da *M* per incominciare il suo giro; nel primo istante la direzione del suo movimento è tangente alla circonferenza in *M*, e cioè parallela al flusso, perciò forza elettromotrice zero; ma subito dopo la direzione del movimento diventa inclinata sulla direzione del flusso e perciò la forza elettromotrice incomincia ad avere un certo valore che di istante in istante va crescendo, sino a che il conduttore è giunto vicinissimo a *Q*, punto nel quale la direzione del movimento è normale alle linee del flusso; punto nel quale, di conseguenza, la forza elettromotrice sarà massima. Nel portarsi poi da *Q* ad *N* la forza elettromotrice diminuirà in modo simmetrico a quello in cui è cresciuta prima, sinchè in *N* sarà nuovamente zero: portandosi poi da *N* per *P* a *M* la forza elettromotrice subirà le stesse variazioni che ha subìto nel primo mezzo giro, ma, come abbiamo già detto, con direzione opposta.

Se noi su di una retta *OX* (Tav. II, fig. 12) prendiamo una lunghezza *MM'* che ci rappresenti il tempo che occorre al conduttore per fare un giro completo, e dividiamo *MM'* in quattro parti uguali poi portiamo al disopra di *OX* dei segmenti che ci rappresentino i valori istantanei delle forze elettromotrici in un senso ed al disotto quelli in senso contrario, noi avremo che nel punto iniziale *M*, per quello che si è detto sopra, questo segmento sarà zero, nel punto *Q* sarà massimo in un senso, nel punto *N* zero

nel punto P massimo nel senso contrario e nel punto M' nuovamente zero. Se poi per ogni istante riportiamo i diversi valori delle forze elettromotrici e riuniamo il tutto con una curva, avremo la curva che ci indica il modo col quale varia la forza elettromotrice durante un periodo. Questa curva è perfettamente simmetrica ed è chiamata dai matematici *sinusoide*; perciò si dice che nel conduttore che ruota nel campo magnetico la forza elettromotrice indotta è una forza *elettromotrice alternata di forma sinusoidale.*

Abbisogna che ci arrestiamo alquanto su questa forza elettromotrice, o differenza di potenziale alternativa; fino ad ora avevamo visto delle differenze di potenziale costanti e le avevamo paragonate alle differenze di livello di due vasi contenenti liquidi.

Vediamo, se è possibile, di valerci dello stesso paragone.

Prendiamo i soliti vasi A e B (Tav. II, fig. 13) uniti dal tubo ed aventi il rubinetto chiuso. Vediamo che cosa succede facendo girare il vaso A in un piano verticale ed attorno al punto O, nel senso delle sfere di un orologio. Nel punto M, A si trova a livello di B, i liquidi dei due vasi si trovano in equilibrio: nessuna tendenza di spostamento nei liquidi. Durante il primo mezzo giro lungo MQN, il vaso A si trova sempre più alto di B, vi ha dunque una differenza di livello positivo fra A e B, una tendenza del liquido a portarsi da A verso B. Nel secondo mezzo giro NPM, il vaso A è sempre più basso di B, vi ha quindi una differenza di livello negativa fra A e B, una tendenza del liquido a portarsi da B verso A. Perciò in ogni periodo il senso del dislivello cambia a metà periodo, cambia il verso secondo cui il liquido tende a correre nel tubo. Non solo, ma se consideriamo come varia da istante ad istante il dislivello, vediamo che esso varia appunto secondo i seni degli angoli descritti dal vaso A e cioè appunto secondo una legge sinusoidale.

Il paragone risulta poi apparentemente più completo pensando che l'effetto prodotto nel liquido dal dislivello è precisamente dovuto al fatto che tutto l'apparecchio è situato in un campo che non è magnetico, ma è un campo simile: quello della gravità, diretto verticalmente dall'alto al basso.

Ritorniamo al nostro conduttore rotante nel campo magnetico; ciò che importa ritenere è che in ogni periodo la forza elettro-

motrice passa da zero ad un massimo in un senso, da questo a zero, poi ad un massimo nell'altro senso, per ritornare nuovamente a zero. Il numero dei giri fatti dal conduttore, ossia dei periodi, in un minuto secondo chiamasi *frequenza* dell'alternativa.

Abbiamo finora parlato di forza elettromotrice, vediamo un po' qualche cosa riguardo alla corrente.

Applichiamo agli estremi a e b (Tav. II, fig. 11) del conduttore una resistenza R (ossia riuniamo a e b con un circuito). Siccome a e b si trovano a differenza potenziale, la resistenza sarà attraversata da una corrente che noi sappiamo essere uguale alla differenza di potenziale divisa per la *resistenza*. Siccome poi la corrente ha sempre la direzione della forza elettromotrice e siccome questa, nel nostro caso, varia di direzione ad ogni mezzo periodo, così anche la resistenza sarà percorsa da una corrente che varia di direzione ad ogni mezzo periodo.

Siccome poi la forza elettromotrice varia con legge sinusoidale, mentre la resistenza rimane costante, anche l'intensità di corrente varierà con forma sinusoidale, perchè sappiamo essere $i = \frac{e}{r}$ ed r costante.

Sempre attenendoci al solito paragone, basterà che noi (Tav. II, fig. 13) supponiamo che la chiavetta c sia aperta mentre il vaso A ruota attorno ad O. Avremo nel tubetto una corrente d'acqua che per mezzo periodo va da A verso B, per l'altra metà da B verso A, avremo una corrente d'acqua la cui velocità varia come il dislivello e cioè con legge sinusoidale.

La corrente elettrica fornita dal conduttore è dunque una *corrente alternata sinusoidale,* a differenza di quella fornita dalla pila che è una corrente continua.

Le macchine elettrogeniche che forniscono correnti alternate si chiamano *alternatori*. Schematicamente abbiamo veduto come si debba costituire un alternatore, si tratta in definitiva di far ruotare un conduttore in un campo magnetico, attorno ad un asse parallelo al conduttore stesso e normale alle linee di flusso.

Sappiamo inoltre che la forza elettromotrice generata è tanto più grande quanto più lungo è il conduttore, quanto più è intenso il campo magnetico, quanto più grande è la velocità di rotazione.

Produzione di un campo magnetico. — Necessita dunque anzitutto produrre il campo magnetico della voluta intensità.

Abbiamo detto che fra i due poli *S* ed *N* di una calamita permanente (Tav. II, fig. 14) si costituisce un campo magnetico, però anche le calamite più potenti dànno sempre una intensità magnetica che è piccolissima in confronto di quella che occorre produrre nelle macchine elettrogeniche.

Si ricorre perciò alla magnetizzazione *per induzione*.

Abbiamo visto, più sopra, qualche cosa, parlando dei conduttori che muovono in campi magnetici, circa le relazioni che corrono fra magnetismo ed elettricità. Queste relazioni, come vedremo, sono molto intime, e magnetismo ed elettricità costituiscono un solo fenomeno complesso.

Se prendiamo una sbarretta di ferro dolce *NS* (Tav. II, fig. 15), avvolgiamo attorno a questa sbarretta un filo metallico e facciamo passare in questo filo, in un senso, una corrente elettrica continua (p. es., quella fornita da una pila), sappiamo che la sbarretta si calamita presentando ad una estremità il polo *N* e dall'altra il polo *S*. Il senso della magnetizzazione si inverte, e cioè i poli si invertono, se noi invertiamo la corrente nel filo *ab*. Appena cessa la corrente cessa la magnetizzazione, la quale permane solo quando la sbarretta sia d'acciaio.

Restiamo al caso del ferro dolce. La magnetizzazione della sbarretta è quindi *indotta* da un' azione speciale della corrente elettrica; questa azione si chiama *forza magnetizzante*. È naturale pensare, e di fatto ciò si verifica esattamente, che tale forza magnetizzante sia tanto più potente quanto più intensa è la corrente che passa nel filo e quanto più grande è il numero delle spire del filo avvolto attorno alla sbarretta. La magnetizzazione della sbarretta sarà tanto più forte quanto più potente sarà la forza magnetizzante, perciò noi potremo, aumentando l'intensità di corrente ed il numero di spire dell'avvolgimento, costruire una calamita temporanea della potenza che desideriamo.

Ma possiamo domandarci se togliendo la sbarretta di ferro la forza magnetizzante persiste. Se noi togliamo il ferro, nell'interno della spira *ab* (Tav. II, fig. 16), che allora prende il nome di *solenoide*, la forza magnetizzante persiste, ed esso solenoide fun-

ziona perfettamente come una calamita, però con molto minor forza; ossia si forma nell'interno del solenoide un campo magnetico meno intenso di quello che possiamo immaginare si formi nell'interno del ferro, perciò si dice che il ferro è più *permeabile* al flusso magnetico di quello che non lo sia l'aria.

Il ferro non è dunque, in definitiva, che un mezzo che lascia passare più facilmente il flusso magnetico generato da una corrente elettrica.

La proprietà che gode la corrente elettrica di magnetizzare temporaneamente il ferro dolce venne utilizzata in un numero grandissimo di apparecchi elettrici; citerò solo due dei più conosciuti: il campanello elettrico ed il telegrafo. Nel campanello elettrico (Tav. II, fig. 17) il filo avvolge il pezzo di ferro dolce *A*, poi giunge ad una massa metallica *E*, da questa passa in una piccola massa di ferro *D* unita al martello del campanello e riparte dal perno *O*. Allorchè premiamo sul bottone la corrente passando magnetizza il pezzo di ferro *A*, il quale attrae a sè l'estremità *D* del martello, la quale colpisce la campana *C*; nello stesso tempo però, staccandosi *D* da *E* la corrente si interrompe, *A* si smagnetizza ed il martello ritorna alla primitiva posizione; la corrente è nuovamente ristabilita e così di seguito.

Nel telegrafo le cose sono ancora più semplici (Tav. II, fig. 18).

Abbassando il tasto *T* si lascia passare la corrente che magnetizza il pezzo di ferro *A* il quale attrae a sè l'estremità di ferro *C* di una leva, la punta *D* si abbassa e scrive sulla carta che scorre sotto di essa, tracciando punti o linee secondo il tempo più o meno lungo durante il quale si tiene il tasto abbassato.

Ritorniamo, dopo questa digressione, alla produzione di campi magnetici. Prendiamo un pezzo di ferro dolce della forma segnata nella fig. 19 (Tav. III) ed eseguiamo un avvolgimento con un filo *ab*, facciamo passare per questo filo una corrente continua in una certa direzione ed avremo fra le faccie *N* ed *S* la costituzione di un certo campo magnetico, la cui intensità dipende, come si disse, dal numero di spire avvolte e dalla intensità di corrente che passa nel filo *ab*.

La forza magnetizzante della corrente percorre, in un certo senso, il nucleo di ferro e passa negli strati d'aria interposti fra le due faccie *S* ed *N*.

Noi sappiamo che l'aria presenta una grande *resistività* al passaggio del flusso magnetico, mentre il ferro ne presenta molto meno; per rinforzare quindi la forza magnetizzante noi potremo interporre fra le due faccie S ed N un nucleo di ferro. Praticamente le cose si dispongono come appare dalla fig. 20 (Tav. III), il nucleo di ferro interno ha una forma cilindrica e porta un asse attorno al quale può girare. Mediante questa disposizione il flusso magnetico si chiude quasi completamente nel ferro, non avendo da attraversare che due sottili straterelli d'aria.

Lo spessore di ogni straterello d'aria si chiama *interferro*.

Il nucleo esterno, che porta l'avvolgimento magnetizzante, chiamasi *nucleo induttore*, od *induttore*, quando vi si comprenda anche l'avvolgimento; il nucleo interno chiamasi nucleo dell'*indotto*. Su quest'ultimo si appoggiano i conduttori che debbono muovere nel campo magnetico.

Indotto. — Disponiamo ora sul nucleo dell'indotto, lungo due generatrici opposte, due conduttori isolati ab e cd e supponiamo di far girare l'indotto nel senso della freccia. Sappiamo che, se nel primo mezzo giro la forza elettromotrice che si manifesta in ab è diretta da b verso a, nello stesso mezzo giro quella che si manifesta in cd è diretta in senso opposto, ossia da c verso d, e che nel mezzo giro successivo, nei due conduttori le forze elettromotrici si invertono. Uniamo con un altro conduttore a con c; nel conduttore ac, che muove in un piano parallelo alle linee di flusso e non tagliando le linee di forza non si produce forza elettromotrice; ma i due conduttori ab e cd risultano riuniti in serie, e cioè le forze elettromotrici che si formano in essi si sommano, per cui alle estremità b e d avremo sempre, ed in ogni istante, una forza elettromotrice doppia di quella che si forma in un conduttore solo.

Noi possiamo quindi avvolgere un filo metallico (rame) rivestito di isolante, attorno al nucleo dell'indotto in modo da disporre più fili, uno sull'altro, nel medesimo piano passante per l'asse del cilindro del nucleo dell'indotto (come in sezione appare dalla fig. 21 (Tav. III)).

Le parti del filo che corrono lungo le generatrici del cilindro dell'indotto sono dette fili utili, perchè in essi si forma la forza

elettromotrice; i raccordi fra queste parti del filo, raccordi che appoggiano sulle faccie piane del cilindro, servono di semplice unione fra i fili utili.

Si comprende che la forza elettromotrice prodotta è tanto più grande quanto più grande è la lunghezza totale del complesso dei fili utili. Fino ad ora abbiamo disposto i fili utili l'uno sul l'altro: potremmo noi metterli l'uno accanto all'altro per utilizzare maggiormente la superficie del nucleo induttore, aumentando in pari tempo il numero di fili utili? Sì e no, come vedremo giacchè qui interviene il fenomeno dello *sfasamento.*

Fenomeno dello sfasamento. — Supponiamo che in un campo magnetico si muovano attorno ad un asse O, colla stessa velocità ed alla stessa distanza dall'asse, due conduttori uguali A e B, distanti l'uno dall'altro di un certo arco AB (Tav. III, fig. 22).

Avverrà naturalmente che in ognuno di essi si genererà una forza elettromotrice, identica, alternata e di forma sinusoidale, con questa sola differenza che ciò che succede in B, avviene in A, ma con un ritardo uguale al tempo che mette il conduttore A a percorrere l'arco AB. Si dice che vi è una *differenza di fase* fra le due forze elettromotrici, e che la forza elettromotrice di A è in ritardo di fase di un numero di gradi uguale all'arco AB. Se noi su di una retta OX (Tav. III, fig. 23) prendiamo i tempi e tracciamo le curve sinusoidali, dovremo tracciare per A la curva A e per B la curva B, identica, ma spostata della lunghezza AB uguale al ritardo. Si vede dunque che in ogni istante le forze elettromotrici di A e B non si possono sommare nel modo ordinario, perchè certe volte sono dirette nello stesso senso, certe altre in senso contrario.

Due forze elettromotrici che hanno una differenza di fase si sommano, come si compongono due forze che facciano fra di loro l'angolo che rappresenta il ritardo di fase. Così la risultante di due forze elettromotrici e ed e' (Tav. III, fig. 24) aventi un differenza di fase α è OE. Si vede che questa risultante è ugual alla somma aritmetica delle due forze elettromotrici solo allorchè esse hanno la stessa fase, ed è tanto più piccola quanto più grande è il ritardo di fase, sino a 180° in cui la risultante è zero. Mettendo i fili utili uno sull'altro, come abbiamo fatto finora,

tutte le forze elettromotrici sono nella stessa fase, e cioè, come si dice, *in fase*; tutte le forze elettromotrici si sommano aritmeticamente; ma se noi (Tav. III, fig. 22) mettiamo un conduttore *C* accanto ad *A*, vi sarà una piccola differenza di fase, per cui bisognerà fare la somma geometrica delle forze elettromotrici.

Finchè la differenza di fase è piccola, la somma geometrica poco differisce da quella aritmetica, perciò noi potremo mettere anche dei fili uno accanto all'altro, sempre quando l'insieme di tutti questi fili non occupi che un piccolo tratto della circonferenza.

Perciò (Tav. III, fig. 25) si praticano nel nucleo indotto due canaletti, paralleli alle generatrici del cilindro e di conveniente sezione, poi il filo si avvolge attorno al nucleo finchè i canaletti risultano pieni; alla estremità di tale filo raccogliamo, presso a poco, la somma aritmetica di tutte le forze elettromotrici che si sviluppano in tutti i fili utili. Questa forza elettromotrice è naturalmente ancora alternativa e di forma quasi sinusoidale. Le estremità del filo che costituiscono l'avvolgimento chiamansi *poli*.

Per raccogliere la forza elettromotrice dai poli dell'avvolgimento bisogna ricorrere ad un piccolo artifizio meccanico perchè l'indotto gira; perciò (Tav. III, fig. 26) sull'asse *OO'* dell'indotto si fissano due anelli metallici, isolati dall'asse stesso e fra di loro, e si uniscono questi anelli ai poli dell'avvolgimento. Questi anelli girano insieme all'indotto ed al suo asse, basterà appoggiare su ognuno di essi una spazzola metallica *S* (Tav. IV, fig. 27) riunita ad un tratto di filo metallico per ottenere due poli fissi che appunto chiamansi poli dell'alternatore.

Alternatore. — Questo alternatore che siamo andati poco alla volta costruendo è composto dunque di tre parti essenziali:

1° l'*induttore*, che è un nucleo di ferro portante un avvolgimento magnetizzante nel quale deve passare una corrente continua; l'induttore è fermo e la corrente magnetizzante viene fornita da una sorgente esterna;

2° l'*indotto* che è un nucleo di ferro portante l'avvolgimento indotto; gira attorno al proprio asse mediante una energia meccanica esterna;

3° *due poli* ai quali si raccoglie una differenza di potenziale, o forza elettromotrice, alternativa sinusoidale.

Sappiamo poi che la forza elettromotrice generata dall'alternatore dipende:

1° dalla lunghezza complessiva dei tratti di filo utile;

2° dalla intensità del campo magnetico generato dall'induttore;

3° dalla velocità di rotazione periferica dell'indotto; e che la forza elettromotrice è tanto più grande quanto sono più grandi queste tre quantità.

Si noti che non si accennò mai alla grossezza dei fili da impiegarsi; la grossezza non influisce affatto sulla forza elettromotrice.

Alternatori polifasi. — Riprendiamo un momento l'indotto dell'alternatore visto poco sopra (Tav. IV, fig. 28), nel quale è fatto l'avvolgimento *ab*. Pratichiamo nel nucleo due altri canaletti diametralmente opposti, uguali ai primi, e facciamo in questi un avvolgimento *cd*, perfettamente uguale ed indipendente dall'avvolgimento *ab*. Avremo naturalmente ai poli di questo secondo avvolgimento una forza elettromotrice alternata sinusoidale perfettamente uguale a quella del primo, ma con un ritardo di fase di un angolo *aoc*. Il nostro alternatore porterà quindi quattro poli, due per la forza elettromotrice del primo avvolgimento, due per quella del secondo, fra le due forze elettromotrici non vi è che una differenza di fase. Invece di due potremo mettere attorno al nucleo tre, quattro, ecc. avvolgimenti: avremo sei, otto, ecc. poli; tre, quattro forze elettromotrici identiche, ma tutte di differenti fasi.

Un alternatore che fornisca diverse fasi chiamasi *polifase*, però generalmente non si usano che alternatori a due o tre fasi simmetriche e si chiamano rispettivamente *alternatori bifasi* e *alternatori trifasi*; l'alternatore che fornisce una sola fase chiamasi *monofase*.

Alternatori bifasi. — I due circuiti (Tav. IV, fig. 29) sono disposti ad angolo retto l'uno rispetto all'altro, ossia presentano una differenza di fase di 90°; generalmente si dice che sono *sfasati un quarto di periodo, od in quadratura*. Se noi unissimo le due fasi essendo esse in quadratura, la risultante invece di essere ugu

al doppio della forza elettromotrice di ogni fase, sarebbe uguale alla forza elettromotrice di una fase moltiplicata per $\sqrt{2} = 1{,}41$.

Alternatori trifasi. — Portano tre circuiti (Tav. IV, fig. 30) inclinati l'uno sull'altro di 120° ossia di $^1/_3$ di periodo. Nel trifase se noi volessimo riunire le tre fasi per ottenere la forza elettromotrice somma delle forze elettromotrici delle tre fasi, arriveremmo al risultato di avere una forza elettromotrice sempre uguale a zero, e ciò perchè una delle forze elettromotrici è sempre uguale e contraria alla componente delle altre due. Siano infatti (Tav. IV, fig. 31) OA, OB, OC le tre forze elettromotrici, componiamo OB ed OC, dico che OD è nella direzione OA ed uguale ad OA e perciò la risultante di OA e OD è zero. L'angolo COD è di 60° perchè OD è diagonale di un parallelogramma equilatero, CDO è pure di 60° per la stessa ragione, il triangolo OCD essendo equiangolo è equilatero, perciò OD è uguale ad OC, ma OC uguale a OA per cui OD è uguale ad OA. L'angolo $AOC = 120°$, l'angolo $COD = 60°$ quindi l'angolo compreso fra AO e OD è un angolo piatto; AO ed OD sono nella stessa direzione.

Correnti generate dagli alternatori. — Si disse che applicando agli estremi di un circuito una differenza di potenziale alternata sinusoidale si ottiene una corrente alternata sinusoidale.

Corrente monofase. — Applichiamo ai poli di un alternatore monofase una resistenza R (Tav. IV, fig. 32). Avremo una corrente alternata di intensità uguale in ogni istante alla forza elettromotrice divisa per R. È necessario un filo per l'andata ed uno pel ritorno della corrente.

Corrente bifase. — Applichiamo ad ogni coppia di poli (Tav. V, fig. 33) di un alternatore bifase, una resistenza R, avremo una corrente in ognuno dei due circuiti, correnti spostate l'una dall'altra di $^1/_4$ di periodo. Occorrono due fili per l'andata e due pel ritorno della corrente.

L'alternatore bifase funziona perfettamente come due alternatori monofasi.

Corrente trifase. — Applichiamo ad ogni coppia di poli di un alternatore trifase una resistenza R (Tav. V, fig. 34), avremo una corrente alternata in ogni circuito, tre correnti spostate l'una dall'altra di $^1/_3$ di periodo. Occorrono tre fili per l'andata e tre per il ritorno della corrente. In questo modo l'alternatore trifase funziona come tre alternatori monofasi.

Però il trifase presenta una curiosa particolarità.

Abbiamo visto che la forza elettromotrice di una fase è sempre uguale e contraria alla componente delle forze elettromotrici delle altre due fasi, lo stesso avviene per le correnti quando la resistenza dei circuiti è uguale; una corrente è sempre uguale e diretta nel senso opposto alla somma delle altre due. Tale particolarità si sfrutta in questo modo (Tav. IV, fig. 35): si riuniscono cioè in un punto O tre fili che partono da poli corrispondenti e gli altri tre in un punto M.

Che cosa avverrà nel punto O e nel punto M?

In ogni istante la somma di due delle tre correnti in un senso sarà uguale e nel senso contrario alla terza corrente. Nei punti O ed M tanta elettricità arriva in ogni istante quanta ne parte. Non bisogna confondere questa riunione di fili con quella che sarebbe necessaria per sommare le tre forze elettromotrici (riunione in serie rappresentata dalla fig. 36, Tav. IV), somma che abbiamo visto essere sempre zero e che quindi darebbe sempre corrente zero.

Per quello che si è detto circa la riunione dei fili del trifase, possiamo subito scorgere che quando si tratti di trasportare dal punto A al punto B una energia elettrica, col monofase occorrono due fili fra A e B, col bifase ne occorrono quattro, col trifase ne bastano tre.

Alternatori ad induttore mobile. — Fino ad ora abbiamo sempre supposto che l'induttore stesse fermo e ruotasse l'indotto; è facile però comprendere che si può fare l'opposto ed allora si hanno gli alternatori ad induttore mobile.

Alternatori multipolari. — Finora abbiamo supposto che l'induttore abbia due soli poli per costituire il campo magnetico, ma invece si possono costituire induttori presentanti numerosi poli (sempre però in numero pari).

Naturalmente occorrerà variare l'avvolgimento dell'indotto, ma il principio è sempre quello accennato.

A seconda del numero dei poli, l'alternatore può essere *bipolare, tetrapolare, multipolare.*

Alternatori ad indotto esterno ed induttore interno. — Così pure vi sono alternatori in cui l'organo induttore è situato nell'interno dell'organo indotto. I costruttori si sono sbizzarriti in mille modi e tutti i sistemi presentano i loro pregi ed i loro difetti.

Lavoro prodotto da una corrente alternata. — Può nascere il dubbio che una corrente alternata non sia capace di produrre un lavoro utile. Questo suo andare e venire può giudicarsi una specie di lavoro di Penelope: pare quasi che faccia ora, per disfare dopo. Invece no, essa lavora onestamente quasi sempre, meno in alcuni casi in cui vi si rifiuta addirittura.

Abbiamo visto che il lavoro è uguale alla differenza di potenziale moltiplicata per l'intensità di corrente, e questa uguale alla differenza di potenziale divisa per la resistenza. La resistenza essendo costante abbiamo che in ogni momento forza elettromotrice e intensità di corrente sono o tutte e due positive, o tutte e due negative, quindi in ogni momento l'energia (loro prodotto) è positiva. Allora diremo che lavora onestamente.

Vi sono però dei casi in cui la resistenza, per uno speciale fenomeno (che chiamasi induttanza od autoinduzione), produce uno spostamento di fase fra la forza elettromotrice e l'intensità di corrente, per cui queste due quantità non hanno sempre lo stesso segno: succederà allora che nei momenti in cui hanno lo stesso segno, la corrente lavora positivamente, e nei momenti in cui si trovano ad avere segno contrario, la corrente lavora negativamente. Il lavoro utile prodotto è la differenza fra il primo ed il secondo. Diremo che allora lavora meno onestamente.

La corrente alternata si rifiuta poi assolutamente di compiere lavori di indole chimica. Sappiamo che mettendo nell'acqua i due poli di una pila, l'acqua si decompone poco per volta nei suoi componenti O ed H. L'O si porta sempre verso il polo — e l'H verso il polo $+$.

Se invece mettiamo nell'acqua i due poli di un alternatore,

siccome questi cambiano sempre di nome, attorno ad ognuno di essi si sviluppano successivamente *H* ed *O*, i quali immediatamente si ricompongono in acqua. La decomposizione dell'acqua non avviene colla corrente alternata.

Valore efficace del potenziale e della corrente alternata. — Sappiamo che in ogni istante questi valori variano, si prende perciò di essi una media, che chiamasi valore efficace del potenziale o della corrente. Così quando si dice un alternatore a 3000 volts, vuol dire che questo è il valore efficace del potenziale (il quale noi sappiamo varia da zero ad un valore certo superiore a 3000, perchè la media sia tale); dicendo che una corrente alternata è di 100 ampères, si vuol dire che tale è il valore efficace della corrente.

Potenza di un alternatore. — Chiamasi potenza di un alternatore l'energia totale che può sviluppare nell'unità di tempo e questa energia è uguale al prodotto del valore efficace del potenziale per il valore efficace della corrente.

Se l'alternatore è polifase, ogni fase produce la stessa energia e la potenza dell'alternatore è la somma delle energie prodotte da ogni fase nell'unità di tempo.

Così per esempio sia un alternatore della potenza di 3000 Kw. (ossia 3.000.000 di watts) al potenziale di 1000 volts.

Se è monofase la corrente sarà di 3000 ampères.

Se è bifase (1500 Kw. per fase) la corrente sarà di 500 ampères.

Se è trifase (1000 Kw. per fase) la corrente sarà di 333 $^1/_3$ ampères.

Ora la corrente che passa nel circuito esterno percorre anche il circuito che avvolge l'indotto. Siccome poi una corrente ha bisogno, per attraversare facilmente un conduttore, che questo sia tanto più grosso quanto più grande è la corrente, è appunto questa che determina la grossezza dei fili che formano l'avvolgimento indotto, grossezza che abbiamo visto essere indipendente dal potenziale.

Vediamo ora in che modo, per es., una corrente alternata è capace di mantenere accesa una lampadina ad incandescenza.

Supponiamo che il periodo sia della durata di 1′ e di chiudere la lampadina nel circuito al principio del periodo. Avverrà che durante i primi 15″ la corrente che passa nel filo della lampadina va, da zero, continuamente crescendo, il filo si riscalda finchè, giunta la corrente presso il suo massimo, diventa incandescente; nei 15″ successivi la corrente va diminuendo, il filo si raffredda, e non è più incandescente. La stessa cosa succede nei 30″ successivi, perchè il filo si riscalda, tanto se la corrente passa in un senso quanto se passa nell'altro. Avremo allora non una incandescenza continua, ma una serie di lampi di incandescenza succedentisi di 30″ in 30″. Basterà però aumentare la frequenza dell'alternativa della corrente, perchè l'intervallo fra i lampi diventi piccolissimo, non solo, ma perchè il filamento non abbia tempo di raffreddarsi fra due lampi consecutivi. In questo modo avremo un'incandescenza continua con delle lievi oscillazioni impercettibili al nostro occhio.

La frequenza delle ordinarie correnti alternate, ossia il numero di periodi nel 1″, varia generalmente da 40 a 50; sono quindi, nelle lampadine, da 80 a 100 oscillazioni al 1″, oscillazioni che il nostro occhio non percepisce più. Nell'intervallo di tempo che corre fra due oscillazioni (da $^1/_{80}$ ad $^1/_{100}$ di 1″) il filamento delle lampadine non ha il tempo di oscurarsi, di fatto noi vediamo, spegnendo una lampadina elettrica, che il filamento impiega un certo tempo apprezzabile per diventare perfettamente nero. Quando una lampadina è alimentata con una corrente continua non vi hanno oscillazioni; il nostro occhio però non nota alcuna differenza fra quelle a corrente continua e quelle a corrente alternata, differenza però che è notata da apparecchi fotometrici più sensibili del nostro organo visivo.

Lavoro a vuoto e lavoro a carico — Rendimento. — Si disse che gli alternatori trasformano l'energia meccanica in energia elettrica. — Si vede ora come questa trasformazione avvenga: noi facciamo, mediante una energia meccanica, girare l'indotto o l'induttore di un alternatore; questo produce ai suoi poli una differenza di potenziale, oppure una corrente, se si uniscono i poli su di una resistenza, la quale lavora.

Allorchè noi teniamo i poli dell'alternatore disgiunti non com-

piamo nessun lavoro elettrico, mettiamo solo l'alternatore nelle condizioni di poter lavorare; però dobbiamo, per ottenere una differenza di potenziale ai suoi poli, far girare l'indotto o l'induttore. Idealmente dovrebbe essere zero lo sforzo necessario per far girare l'indotto o l'induttore; praticamente, questo avrà il suo asse compreso fra cuscinetti, noi quindi per farlo girare dobbiamo vincere tutte quelle resistenze di attrito che ostacolano il suo movimento. Noi dovremo quindi colla puleggia che comanda l'organo mobile dell'induttore eseguire un lavoro meccanico, piccolo, necessario a vincere le resistenze al movimento, indipendente cioè da qualsiasi proprietà elettrica dell'alternatore. Tale energia meccanica viene dispersa in attriti meccanici, nessuna parte di essa si trasforma in energia elettrica. Si dice allora che l'alternatore lavora a vuoto.

Ma se noi riuniamo i poli dell'alternatore con una resistenza, per es., manteniamo accese delle lampadine, vorrà dire che noi consumiamo dell'energia elettrica; ora questa non può essere che energia meccanica trasformata, è dunque necessario che noi incontriamo una maggiore resistenza per far muovere l'organo mobile dell'alternatore, e cioè che comunichiamo ad esso una maggiore energia. Si noti che la velocità dell'organo mobile non deve cambiare, perchè noi sappiamo che ciò produrrebbe una variazione di differenza di potenziale.

Come avviene dunque ciò?

Apparentemente nell'alternatore nulla è mutato, è sempre lo stesso organo che noi dobbiamo far girare alla stessa velocità sugli stessi cuscinetti; come avviene che noi, semplicemente pel fatto di aver acceso, anche a grande distanza, alcune lampadine, risentiamo essere necessario uno sforzo superiore?

Questo fenomeno avviene per effetto della reazione magnetica dell'indotto sull'induttore. E mi spiego:

Sia *A* un alternatore monofase (Tav. V. fig. 37), bipolare ad indotto mobile. *N* ed *S* sono i due poli dell'induttore producente il campo magnetico costante, *O* l'indotto, *ab* l'avvolgimento, *P*, *P'* i due poli dai quali partono i fili *PG* e *P'H*; *C*, *D*, *E*, *F* sieno lampadine provviste dei loro commutatori *c'*, *d'*, *e'*, *f'*. L'indotto giri nel senso della freccia *f*.

Supponiamo tutti i commutatori delle lampadine aperti, il cir-

uito è aperto, le lampadine spente, l'alternatore lavora a vuoto, on passa nessuna corrente.

Chiudiamo il commutatore c', la lampadina C si accende, passa na corrente la quale percorre tutto il circuito così chiuso e erciò anche l'avvolgimento ab. Ma l'avvolgimento ab è fatto su i un nucleo di ferro, per effetto dell'azione magnetizzante della orrente, il nucleo di ferro viene ad essere magnetizzato secondo na certa direzione, per es. $S'N'$. Magnetizzato in questa direione, il polo S' del nucleo indotto tende a rimanere di faccia l polo N dell'induttore e viceversa, mentre il movimento del- indotto tende ad allontanarli; per poterli allontanare è necesario vincere questa attrazione magnetica, occorre quindi, per ar girare l'indotto, uno sforzo superiore a quello che era neessario prima.

L'entità di questo sforzo dipende dall'intensità della magneizzazione dell'indotto, e questa dalla corrente che passa nel- avvolgimento ab; a sua volta la corrente che passa in ab è anto più grande quanto più grande è il numero delle lampaine che si tengono accese. Perciò la reazione dell'indotto sul- induttore, reazione che si oppone al suo movimento, è tanto naggiore quanto più grande è la corrente che passa nell'avvolimento dell'indotto, ossia quanto più grande è il lavoro eletrico eseguito dall'alternatore; di qui si vede come esista un erfetto parallelismo fra l'energia meccanica concessa e l'energia lettrica restituita.

Allorchè un alternatore compie un lavoro elettrico, dicesi che lavora sotto carico.

Il rapporto fra l'energia elettrica restituita e l'energia meccanica data, costituisce ciò che chiamasi il rendimento dell'alternatore.

Il rendimento delle macchine elettriche è in generale elevaissimo, quello dei grandi alternatori raggiunge perfino il 95-96 er 100.

Vi è dunque una piccolissima perdita di energia in questa asformazione, perdita dovuta ad attriti meccanici e ad attriti lettrici. Di fatto la corrente che passa nei fili dell'avvolgimento ell'indotto lo riscalda ed in esso avvolgimento si perde una ergia uguale al prodotto della resistenza dell'avvolgimento

stesso pel quadrato della corrente che lo percorre; poi nel nucleo di ferro dell'indotto, che è anch'esso un conduttore che muove in un campo magnetico, si producono delle correnti che si chiamano *parassite*, infine si perde una certa quantità di energia nell'indotto per effetto del fenomeno detto di *isteresi magnetica*.

Abbiamo detto che la corrente elettrica magnetizza il ferro dolce, il quale si smagnetizza appena cessa la corrente, mentre l'acciaio rimane magnetizzato anche dopo. Ma la smagnetizzazione del ferro dolce, al cessare della corrente, non è mai assoluta, qualche cosa rimane.

Da questa permanenza deriva il fenomeno d'*isteresi*.

Per diminuire la perdita è necessario dunque che sia piccola la resistenza dell'avvolgimento indotto (e anche quella dell'induttore), che sieno piccole le correnti parassite, e perciò invece di adoperare per i nuclei dei blocchi di ferro compatto, si costituiscono questi blocchi sovrapponendo l'uno all'altro tanti fogli sottili di lamiera di ferro separati da uno strato isolante (carta o vernice); occorre che l'isteresi sia piccola, quindi si impiegano materiali di ferro puro, il più che sia possibile dolce.

Siccome poi tutta l'energia che non si trasforma in energia elettrica si trasforma in calore, così l'alternatore che lavora si riscalda: perchè non si riscaldi troppo è necessario che l'alternatore presenti una certa superfice ben ventilata.

Passeremo ora ad esaminare l'altro grande gruppo delle macchine elettrogeniche, quelle che forniscono correnti continue, macchine che prendono più generalmente il nome di Dinamo.

Dinamo. — La produzione della forza elettromotrice e della corrente continua poggia sugli stessi fenomeni e sugli stessi principî sui quali si fonda la produzione della forza elettromotrice e della corrente alternata negli alternatori.

Abbiamo detto che se un conduttore ruota in un campo magnetico si produce, in esso conduttore, una forza elettromotrice, od una differenza di potenziale, ai suoi estremi; forza elettromotrice che cambia di verso ad ogni mezzo periodo; sappiamo come funziona un alternatore monofase e come esso ci dia ai poli una forza elettromotrice alternata.

Parlando del modo col quale si raccoglie la forza elettromo-

rice alternata ai poli, abbiamo visto che bisogna adottare due ollarini metallici (fig. 26 e 27, Tav. III e IV), i quali sono niti, ciascuno di essi, ad un estremo dell'avvolgimento indotto, sui quali sono appoggiate due spazzole metalliche.

Per passare dall'alternatore alla dinamo non vi è altro da fare he adattare un apparecchio che chiamasi *collettore*, il quale serve raddrizzare il senso della forza elettromotrice, capace cioè i far sì che questa risulti sempre diretta nello stesso senso. La cosa è semplice. Invece di riunire le estremità dell'avvolgimento (Tav. V, fig. 38) su due collarini, si uniscono su di un collarino solo, formato di due mezzi collarini metallici separati da un solante: *ab* rappresenta l'avvolgimento (come quello di un alternatore monofaso), *c* e *d* rappresentano i due mezzi collarini formanti il collettore, l'estremità *e* dell'avvolgimento si riunisce al mezzo collarino *c* e l'altra estremità *i* dell'avvolgimento al mezzo collarino *d*; *f* ed *f'* sono due spazzole metalliche, ferme, che poggiano sul collettore e terminano in *h* e *g*, poli della dinamo. Se si suppone che l'indotto giri nel senso della freccia, si vede che, nell'avvolgimento, finchè *a* è a destra di *XX'*, la forza elettromotrice è in un senso, mentre è nel senso contrario allorchè *a* risulta a sinistra di *XX'*; ma contemporaneamente, finchè *a* è a destra di *XX'*, sotto la spazzola *f* vi è il mezzo collarino *c*, allorchè *a* è a sinistra di *XX'*, sotto la spazzola *f* vi è il mezzo collarino *d*. Perciò ai poli *g* ed *h* la forza elettromotrice è sempre diretta nello stesso senso, giacchè il collettore ne raddrizza il senso quando sta per invertirsi.

Se noi facessimo la curva della forza elettromotrice, invece di avere quella *a* (Tav. V, fig. 39) che ci dà l'alternatore, avremmo quella *b*.

Questa però sarebbe una forza elettromotrice sempre nello stesso senso, ma oscillante (due oscillazioni per periodo) da zero ad un certo massimo.

Noi però possiamo moltiplicare i circuiti e corrispondentemente le divisioni del collettore ed ottenere in questo modo una orza elettromotrice, non solo rivolta sempre nello stesso senso, a una forza elettromotrice così poco oscillante da potersi considerare costante.

Parte essenziale dunque della dinamo è il collettore il quale

risulta formato di un cilindro investito sull'asse dell'indotto, portante, sulle sue generatrici, tante sbarrette metalliche, divise da straterelli isolanti. Parte essenziale e nello stesso tempo lato debole della dinamo, perchè le sbarrette del collettore si trovano ad avere, nello stesso istante, potenziali differenti, e se questi sono troppo differenti, possono scoccare scintille fra sbarretta e sbarretta, attraverso l'isolante, e rovinare il collettore. Così pure scoccano scintille fra il collettore e le spazzole. Perciò appunto non è prudente costruire dinamo che diano potenziali molto elevati, mentre si possono costruire alternatori a potenziali elevatissimi, specie quando sono ad indotto fisso, non essendo allora necessario ricorrere a nessun artificio per raccogliere la corrente, che si prende direttamente agli estremi dell'avvolgimento.

Anche nella dinamo possono usarsi più poli invece di due, ed allora occorrono tante spazzole quanti sono i poli; così pure si può tener fermo l'indotto e muovere l'induttore, ed in questo caso, siccome resta fermo il collettore, bisogna far girare le spazzole insieme all'induttore (non si usano).

Le dinamo forniscono una corrente continua, simile a quella delle pile; non vi è perciò nulla da aggiungere di speciale. Quando lavorano a vuoto, per fare girare l'indotto basta vincere le resistenze meccaniche che si oppongono al movimento; quando lavorano sotto carico, occorre vincere la reazione dell'indotto, simile a quella degli alternatori, reazione tanto più potente quanto più forte è il carico. Esse hanno un buon rendimento, per quanto in genere un po' meno elevato di quello degli alternatori di uguale potenza.

Induttore degli alternatori e delle dinamo. — Abbiamo visto che, tanto negli alternatori, come nelle dinamo, l'induttore è formato da un nucleo di ferro che viene magnetizzato da una corrente continua. Ora negli alternatori non si produce che corrente alternata, perciò sarà necessario prendere la corrente continua al di fuori dell'alternatore.

La corrente continua per gli alternatori può venir fornita da pile, da accumulatori, e specialmente da piccole dinamo. In certi grandi alternatori, sullo stesso asse, vien posto l'alternatore e una piccola dinamo che fornisce la corrente continua d'induzione

elle dinamo invece si produce corrente continua, è naturale di che si sia pensato ad utilizzare una parte di questa cor- e per magnetizzare l'indotto. Secondo il modo col quale si de questa parte di corrente, che si dice d'*eccitazione*, le mo si chiamano *eccitate in serie*, od *eccitate in derivazione*, e semplicemente: dinamo in serie, o dinamo in derivazione.

inamo eccitate in serie. — In queste tutta la corrente prodotta a nelle spire che avvolgono l'induttore (Tav. V, fig. 40). I poli dinamo sono P, P', e, come si vede, quando inseriamo la tenza esterna R, il circuito, partendo dalla spazzola s, va parte esterna R, all'avvolgimento a, alla spazzola s' e per volgimento interno dell'indotto si chiude in s. Per ricono- e se una dinamo è in serie, basta guardare se il filo che tuisce l'avvolgimento dell'induttore è della stessa grossezza, asi, di quello che forma l'avvolgimento indotto.

inamo eccitate in derivazione. — Vedi fig. 41, Tav. V. poli sono P e P', il circuito esterno si riunisce direttamente P', prima dei poli si distacca un circuito secondario che a l'avvolgimento dell'induttore. In questo caso vi è una ente principale che dalla spazzola s attraversa la resistenza na R, giunge ad s' e, per l'avvolgimento interno dell'in- o, si chiude in s, ed una corrente secondaria, o derivata, percorre l'avvolgimento dell'induttore.

ediamo come si comporta una corrente derivata.

a AB un conduttore percorso da una corrente da A verso B V, fig. 42), facciamo una derivazione $CR'D$. La corrente arri- lo in C trova due vie al suo passaggio: CRD e $CR'D$, per cui oltrerà per ambedue, dividendosi in due parti: la parte più de passerà naturalmente per il filo che presenta la minor tenza. Ora siccome un filo presenta tanto più resistenza to più è piccola la sua sezione e quanto più è lungo, così hè passi nella derivazione una piccola parte della corrente, cessario un filo molto piccolo in confronto dell'altro. Così dinamo in derivazione il filo che avvolge l'induttore è o più sottile di quello che avvolge l'indotto, e questo è uno riteri per riconoscerle.

Nelle dinamo in serie ed in derivazione, allorchè incominciamo a far muovere l'indotto, sembra che non dovrebbe avvenire nulla, perchè il nucleo di ferro induttore è smagnetizzato e quindi non esiste il campo magnetico, il quale si produce solamente quando passa la corrente: e, circolo vizioso, la corrente si produce solo quando vi sia il campo magnetico. Ciò avverrebbe di fatto se il nucleo induttore fosse completamente smagnetizzato, ma noi sappiamo che, per quanto costituito di ferro dolce, una debole magnetizzazione sussiste sempre, perciò sussiste un piccolo campo magnetico. Incominciando a far girare l'indotto, il piccolo campo restante induce una piccola corrente, la quale a sua volta rinforza il campo, questo rinforza la corrente, finchè, in brevissimo tempo, si stabiliscono le condizioni normali di funzionamento.

Dinamo ad eccitazione indipendente. — Così si chiamano quelle dinamo in cui la corrente eccitatrice è fornita dall'esterno della dinamo stessa, come negli alternatori.

Questi tre tipi di dinamo hanno ciascuno proprietà differenti, che sarebbe inutile ora indagare, ma che fanno preferire ora l'uno, ora l'altro tipo, a seconda dell'uso al quale si desidera destinarli.

Riepilogo sulle macchine elettrogeniche. — Abbiamo così accennato sommariamente a tutta la grande famiglia delle macchine elettrogeniche. Direi quasi che i due sessi di queste macchine, alternatori e dinamo, si distinguono perchè il femminile possiede il collettore.

Gli alternatori poi sono monofasi (rari) se presentano due poli, bifasi se ne presentano quattro, trifasi se ne presentano tre o sei.

Le dinamo presentano sempre due poli ed un numero di spazzole uguale al numero delle faccie polari dell'induttore, l'indotto è fornito di un collettore; sono in serie se l'avvolgimento dell'induttore è uguale, nella grossezza dei fili, a quello dell'indotto; in derivazione se più piccolo; ad eccitazione indipendente se viene dal di fuori.

La potenza delle macchine è sempre in Kw. (migliaio di *watts*);

conoscendone la tensione (differenza di potenziale), basta dividere la potenza in *watts* per la tensione per avere la corrente che la macchina può produrre.

Per formarsi un'idea delle potenze è necessario ricordare che 1 Kw. corrisponde a circa cavalli vapore 1,36.

III.

Trasformatori e convertitori.

Generalità. — Noi abbiamo una corrente elettrica; può dar che quale essa è non sia adatta all'uso per il quale desideria destinarla; converrebbe dunque trasformarla, o convertirla in un'altra di tipo diverso.

Che cosa possiamo modificare in una corrente?

Il potenziale e la forma. Il potenziale, se noi vogliamo av una corrente della stessa forma, ma a potenziale più o m elevato (per es., da una corrente alternata vogliamo otten un'altra corrente alternata di diverso potenziale); la forma, per es., da una corrente alternata vogliamo ottenere una rente continua.

Gli apparecchi che variano solo il potenziale si chiam *trasformatori di tensione*, o semplicemente *trasformatori*; q che cambiano la forma si chiamano *convertitori*.

Trasformatori. — Questi in realtà non servono che per le renti alternate, giacchè per le correnti continue è necess ricorrere a tutt'altro espediente.

Trasformatori statici di tensione per correnti alternate. — Chia-
ansi statici perchè non posseggono alcun organo mobile. Ve-
iamo su quale fenomeno si fondano. Prendiamo un anello di ferro
olce *A* (Tav. V, fig. 43) e facciamo un avvolgimento con un filo *ab*;
ppiamo che facendo passare una corrente continua nel filo *ab*
i produciamo nell'interno del ferro dell'anello un campo ma-
etico diretto, per es., nel senso della freccia *e*, di una inten-
à proporzionale alla intensità di corrente che passa nel filo *ab*
al numero delle spire costituenti l'avvolgimento. Sappiamo
e invertendo la corrente si ha lo stesso campo magnetico di-
tto nel senso opposto. Facciamo passare per *ab* una corrente
ernata sinusoidale: è facile comprendere che l'intensità e la
ezione del campo magnetico, che si sviluppa nell'anello di
ro, seguono le stesse variazioni della corrente che passa per *ab*,
cioè che tale campo magnetico è alternato sinusoidale.

Supponiamo ora che nel filo *ab* non passi più corrente, ma
e nell'interno dell'anello continui ad esistere il campo magne-
o alternato, che la corrente vi produceva. Avremo perfetta-
ente il fenomeno inverso, e cioè il campo magnetico alternato
odurrà, o, per meglio dire, indurrà, la corrente nel filo *ab*
la stessa corrente che prima vi era). Questo fenomeno non si
piega, è. Vediamo ora come esso viene sfruttato nei trasforma-
ori. Prendiamo l'anello *A* (Tav. VI, fig. 44) e facciamo due avvol-
imenti uguali con due fili *ab* e *cd*. Se noi facciamo nel primo
lo *ab* passare una certa corrente alternata, questa produrrà il
ampo magnetico alternato, il quale a sua volta indurrà una
orrente alternata nel secondo filo *cd*, e per meglio dire se ap-
lichiamo agli estremi del filo *ab* una differenza alternativa di
otenziale, la stessa differenza alternativa troveremo ai capi
l filo *cd*.

Questo perchè i due avvolgimenti sono uguali; ma siccome
forza elettromotrice dipende dal numero delle spire avvolte,
noi col filo *cd* facciamo un numero di spire $^1/_2$ di quelle fatte
ab, avremo agli estremi *cd* un potenziale metà. Per trasfor-
e quindi una corrente alternata [illegible] una data tensione (per
1000 volts) in una corrente [illegible] d'altra tensione (per
100), basta fare su di uno [illegible] leo [illegible] due av-
menti, con un numero di s[illegible]zie[illegible]ue ten-

sioni (da 10 ad 1). Il circuito che porta la corrente che si ha, si chiama *primario*; quello che dà la corrente che si desidera, si chiama *secondario*.

Trasformatori per correnti monofasi. — Sono costituiti in genere da un blocco di ferro F e dai due avvolgimenti: I, primario, II. secondario. Se noi chiamiamo T la tensione del primario e t quella del secondario, N il numero di spire del primario ed n quello del secondario, esiste questa semplice relazione:

$$T : t :: N : n.$$

Trasformatori per correnti bifasi. — Occorrono due trasformatori per correnti monofasi, ciascuna corrente del bifase viene trattata isolatamente.

Trasformatori per correnti trifasi. — Si possono, trattando isolatamente ogni corrente, impiegare tre trasformatori monofasi. però, e più economicamente, si può formare un trasformatore unico. Si fanno i tre avvolgimenti come appare dalla fig. 46, Tav. VI (gli altri estremi degli avvolgimenti, che in figura non sono segnati, sono uniti: quelli del primario insieme, e quelli del secondario pure). Ci ricordiamo che una corrente del trifase è sempre uguale e contraria alla componente delle altre due, quindi anche il campo magnetico indotto da una corrente deve essere sempre uguale e contrario alla componente dei campi magnetici indotti dalle altre due correnti. Perciò il flusso magnetico complessivo, può benissimo percorrere il nucleo di ferro FF.

La potenza di un trasformatore rappresenta l'energia che può trasformare nell'unità di tempo. Supponiamo che un trasformatore monofase sia della potenza di 1000 Kw., il primario a di 1000 volts, il secondario o 100 volts.

Allora la corrente del primario sarà:

$$\frac{1000 \text{ Kw.}}{1000 \text{ volts}} = 1000 \text{ ampères.}$$

lla del secondario

$$\frac{1000 \text{ Kw.}}{100 \text{ volts}} = 10.000 \text{ ampères.}$$

La corrente del secondario è in ragione inversa della sua tenne, e siccome è bene che la sezione del filo sia direttamente porzionale alla intensità di corrente che lo percorre, anche grossezza del filo è inversa alla tensione.

l trasformatore ora detto avrà dunque nell'avvolgimento sedario $\frac{1}{10}$ delle spire del primario, ma costituito da filo 10 volte grosso.

Osservando un trasformatore si ricorderà che il filo più grosso uello che fornisce la tensione (potenziale) minore ed in genere sto sarà il secondario, perchè comunemente queste macchine impiegano per abbassare le tensioni.

l trasformatori, non avendo organi mobili, non esigono nesa sorveglianza (si regolano da sè) e, bene usati, si guastano ficilmente, hanno un rendimento elevatissimo (fino al 97, per 100) essendo soggetti solo ad attrifi elettrici (resistenza circuiti, correnti parassite, isteresi del ferro); hanno il solo etto che, rimanendo immobili, si riscaldano facilmente.

Ho detto, fra parentesi, che si regolano da sè: questa, direi asi, virtù dei trasformatori merita due parole di commento.

Supponiamo di avere una conduttura di corrente alternata a volts, per l'illuminazione, come del resto è in genere; vomo invece tenere accese delle lampadine che necessitano o 10 volts. Ci sarà necessario ridurre il potenziale della corte. Prendiamo allora un trasformatore conveniente e attacamolo alla conduttura col primario (Tav. VI, fig. 47), al ondario mettiamo le lampadine.

Sieno esse tutte spente. Vuol dire che noi non consumiamo rgia elettrica nel secondario: siamo, direi quasi, in diritto di tendere di non consumarne neppure nel primario. Per non sumarne bisognerebbe che nessuna corrente passasse nel pririo, eppure a e b presentano una differenza di potenziale di volts e sono uniti con un conduttore di rame che costituisce

il primario; come è possibile che in esso non si stabilisca una corrente? Vediamo un po' come stanno le cose e supponiamo che si formi la corrente. Allora nel ferro avviene la costituzione del campo magnetico alternativo, il quale agisce bensì sul secondario producendo ai suoi poli una differenza di potenziale (ma nessuna corrente perchè il circuito secondario è aperto), ma reagisce anche sul primario stesso producendo una forza elettromotrice di autoinduzione uguale e contraria a quella che già esiste fra *a* e *b*, per cui in realtà fra *a* e *b* non vi è più una differenza di potenziale di 110 volts, ma di zero volt e nessuna corrente può passare. Sarebbe lo stesso come se l'avvolgimento presentasse una resistenza infinita (si chiama resistenza induttiva — induttanza — di cui accennammo parlando del lavoro delle correnti alternate). In pratica la reazione non è uguale all'azione e passa in realtà una corrente piccolissima, addirittura trascurabile, quando il trasformatore lavora a vuoto.

Ma se accendiamo una lampadina noi consumiamo energia nel secondario, dobbiamo consumarne anche nel primario. Accendendo una lampadina, la corrente necessaria per tenerla accesa passerà nel secondario e perciò questo, a sua volta indurrà, per conto suo, un campo magnetico alternativo. Questo campo risulta in opposizione a quello creato dal primario, per cui in questo diminuirà la forza elettromotrice di autoinduzione la quale sarà bensì contraria alla forza elettromotrice applicata in *ab* ma alquanto minore. Viene quindi a risultare fra *a* e *b* una piccola differenza di potenziale, che permette il passaggio della corrente nel primario. Si comprende che se accendiamo, invece di una, 2, 4, 100, ecc. lampadine, la corrente del primario sarà: 2, 4, 100, ecc. volte più intensa e conseguentemente sempre minore la forza elettromotrice di autoinduzione del primario e sempre maggiore la corrente che lo percorrerà.

Quindi possiamo lasciare tranquillamente unito il trasformatore alla conduttura generale, sicuri che prenderà da essa se quanto ci sarà necessario.

Trasformatori di tensione per correnti continue. — Il sistema che serve per trasformare la tensione di una corrente alternata non serve per la corrente continua.

e noi (Tav. VI, fig. 44) facciamo su di un anello *A* due avvolgi-
nti *ab* e *cd*, e facciamo passare per *ab* una corrente continua,
iene questo fenomeno: Nell'istante in cui si immette in *ab* la
rente, si manifesta in *cd* una corrente istantanea in un senso,
più nulla; nell'istante in cui si toglie la corrente da *ab* si
nifesta in *cd* una corrente istantanea nel senso contrario, poi
nulla. Queste due correnti si chiamano di chiusura e di aper-
a e sono dovute al formarsi ed allo scomparire del campo
gnetico costante.

i vede quindi che non è possibile fare per le correnti con-
ie quanto si fa per le alternate, almeno nello stesso modo.
'rima di vedere come è possibile trasformare la tensione di
corrente continua, vediamo come furono utilizzate le cor-
ti di apertura e di chiusura.

Rocchetto di Ruhmkorff. — Se volessimo tracciare le curve delle
renti di chiusura e di apertura determinate da una corrente
tinua che si immetta e si tolga nel circuito *ab*, noi avremo,
ndendo (Tav. VI, fig. 48) *X X'* l'asse dei tempi, all'apertura
es., una corrente *ODA* di una durata *OA* piccolissima, poi
nulla per tutto il tempo *AB* in cui il circuito resta chiuso,
ndi un'altra corrente *BEC* di piccolissima durata e rivolta
senso contrario. Noi possiamo però rendere piccolissimo l'in-
rallo *AB*, e perciò basterà che noi togliamo la corrente non
ena l'abbiamo immessa; se poi appena l'abbiamo tolta la
niamo subito a mandare e così di seguito, avremo nel filo *cd*
corrente alternata oscillante della forma della fig. 49, Ta-
a VI.

iccome poi il potenziale della corrente indotta nel filo *cd* di-
de dal numero di spire fatte dal filo *cd*, vediamo la possi-
tà di ottenere nel medesimo una corrente di potenziale tanto
quanto desideriamo.

In apparecchio così costituito, trasforma una corrente con-
a a basso potenziale in una corrente alternata oscillante ad
potenziale. Organi principali di tale apparecchio sono:
'interruttore, 2° gli avvolgimenti primario (per la corrente
inua) e secondario (corrente alternata oscillante).

ttorno ad un pezzo di ferro *F* (Tav. VI, fig. 50) si costitui-

scono i due avvolgimenti, il primario *G* di filo piuttosto grosso e di poche spire, il secondario *H* di filo sottile e di un numero di spire tanto più grande quanto più alto si desidera il potenziale secondario. Uno dei capi del primario, per es., *I*, si attacca direttamente alla pila mediante l'intermediario del tasto *T*, l'altro capo *C* si attacca all'interruttore.

L'interruttore è costituito da una molla *M*, portante alla sua estremità una piccola massa di ferro *B*, e da un sopporto metallico *A*, che presenta una punta *N*. Allorchè la molla *M* è in riposo, essa tocca la punta *N* e perciò, se noi abbassiamo il tasto *T*, la corrente fornita dalla pila, dal polo *P* passando per la punta *N* entra nella molletta *M*, percorre il primario e per *I* ritorna alla pila. Ma appena la corrente passa nel primario, il nucleo di ferro *F* si calamita ed attrae a sè la piccola massa di ferro *B*, per cui la molletta viene a staccarsi dalla punta *N* ed il circuito si rompe; non appena rotto, la molletta, non più attratta, perchè il nucleo si smagnetizza, ritorna a toccare la punta *N* ed il circuito è ristabilito e così di seguito. Si comprende come il movimento dell'interruttore possa essere rapidissimo, ed appunto questo movimento è la causa di quel ronzìo che si sente vicino ad un Rocchetto di Ruhmkorff che lavora.

Noi avremo dunque agli estremi del secondario una differenza di potenziale alternata oscillante, la quale può essere grandissima anche impiegando nel primario una sola o poche pile. È necessario però pensare che anche al secondario non può svilupparsi che l'energia che possono sviluppare le pile impiegate nel primario e quindi non bisogna credere che si possa avere al secondario una grande potenza, viene solamente cambiata la forma dell'energia.

Questo apparecchio è notissimo e noi lo conosciamo specialmente perchè è quello che serve a dare le scosse elettriche. Negli apparecchi che servono a questo scopo, il nucleo interno di ferro può venire gradatamente estratto dal tubo attorno al quale sono fatti gli avvolgimenti. Noi sappiamo che l'aria è molto meno permeabile del ferro al flusso magnetico e perciò estraendo gradatamente il nucleo di ferro interno, noi non faremo che diminuire gradatamente l'intensità del campo magnetico interno e per conseguenza la differenza di potenziale

secondario. È perciò che quando prendiamo una scossa elettrica, questa è tanto più forte quanto più il nucleo di ferro viene introdotto nell'interno degli avvolgimenti.

Si disse che l'energia che si ha al secondario è la stessa (anzi un po' meno) di quella che si dà al primario. Come va allora che noi possiamo toccare impunemente i poli di una pila, mentre la stessa energia della pila, trasformata da un rocchetto, può darci scosse violentissime? È sempre una questione di livello. Noi possiamo impunemente mettere la mano sotto una cascata d'acqua che cada da un metro d'altezza, anche se in grande volume, mentre non potremmo fare altrettanto sotto un filo d'acqua che cadesse da 1000 metri d'altezza.

Se noi uniamo il secondario di un rocchetto con due sfere metalliche (Tav. VI, fig. 52) veniamo a caricare queste successivamente ad altissimi potenziali, per cui, se la distanza fra le sfere è conveniente, fra esse scatterà una successione di scintille elettriche.

Le ultime scoperte elettriche hanno rimesso in onore il rocchetto, specie per la produzione dei raggi X e per la telegrafia senza fili, come avremo occasione di vedere più oltre.

Abbiamo detto che il ferro rinforza il campo magnetico presentando una maggiore permeabilità dell'aria. Su questo fenomeno è appunto basato il telefono.

Telefono. — L'apparecchio più semplice e fondamentale che chiamasi telefono è costituito da due parti identiche che funzionano indifferentemente da trasmettitore e da ricevitore. Ognuna di esse è formata da una calamita permanente M, M'; a piccola distanza dai poli di questa vi è una piccola lamina di ferro T, T'. Un filo F si avvolge a spire attorno ai due magneti in A ed A' ed è chiuso su sè stesso. Parlando dinanzi alla laminetta T dell'apparecchio I le onde sonore provocano una vibrazione nella lamina T, la quale perciò si avvicina e si allontana rapidamente dai poli della calamita M, ciò facendo viene a provocare successive alterazioni nell'intensità del flusso magnetico della calamita, queste alterazioni provocano a loro volta tante piccole correnti, nei due sensi, nel filo F, e perciò avvengono nella calamita M' alterazioni di flusso simili a quelle che si stabiliscono nella calamita M,

perciò la lamina di ferro T' dell'apparecchio II viene ad essere messa in vibrazione, trasmette le sue vibrazioni all'aria, e noi sentiamo all'apparecchio ricevente i suoni che si producono su quello trasmettente.

Questo semplice apparecchio trasforma successivamente una vibrazione meccanica in elettrica e viceversa. Tale è l'apparecchio fondamentale e tutti i telefoni non sono che perfezionamenti di esso.

Conversione di correnti continue. — Per parlare della trasformazione di una corrente continua in un'altra di differente potenziale, noi dobbiamo nominare i motori elettrici: per ora e per procedere con un certo ordine, ammetteremo che i motori elettrici siano macchine alle quali fornendo una corrente elettrica riceviamo un lavoro meccanico.

Per fare la trasformazione sopra accennata si prende (Tav. V fig. 53) un motore elettrico M, adatto alla corrente continua di cui si dispone, e lo si mette in moto mediante tale corrente; da questo motore si fa azionare una dinamo che ci dia la corrente continua che desideriamo. Questo è il principio generale; però vi sono apparecchi speciali in cui il motore e la dinamo sono uniti nella stessa macchina. Tale gruppo generalmente viene chiamato, invece di trasformatore, convertitore, intendendosi per trasformatori solo quelli statici per correnti alternate.

Vedremo, parlando degli accumulatori, come questi diano mezzo di trasformare il potenziale di una corrente continua.

Convertitori. — Comunemente per convertire una corrente di una certa forma in un'altra di forma diversa è necessario un gruppo costituito da un motore elettrico, impiegante la corrente che si vuol trasformare, ed azionante una macchina elettrogenica capace di fornirci la corrente che si desidera.

Così data una corrente continua e volendone una trifase, occorrerà un gruppo costituito da un motore a corrente continua, azionante un alternatore trifase, ecc.

Anche per questi convertitori vi sono apparecchi speciali riuniti in una sola macchina, ma su per giù basati sempre sullo stesso principio e poco interessanti perchè non molto usati.

Il rendimento dei convertitori è relativamente piccolo (80 per °/₀) di fronte a quello dei trasformatori statici e sono macchine delicate ed esigenti una attenta sorveglianza.

Abbiamo così visto come si produce l'energia elettrica (macchine elettrogeniche), come se ne possa variare la forma (trasformatori e convertitori); vedremo ora come la si trasporti dal punto dove si genera al punto dove la si deve utilizzare.

IV.

Trasporti d'energia.

Trasporto dell'energia elettrica. — Per utilizzare l'energia elettrica noi abbiamo bisogno di possedere dei punti presentanti una differenza di potenziale. Per esempio, noi vogliamo, qui, accendere una lampadina: sulla lampadina è inciso un numero per es., 106, vuol dire che per tenerla accesa è necessario applicare ai suoi estremi una differenza di potenziale di 106 volts. I due fili che la Società della luce elettrica ci conduce fin qui presentano appunto tale differenza di potenziale: non abbiamo quindi altro da fare che unire mediante due fili le due estremità del filamento della nostra lampadina ai fili della conduttura (Tav. VI, fig. 54). Quindi incarico della officina, che distribuisce l'energia elettrica, è quello di mantenere i suoi fili ad una data differenza di potenziale. Può darsi che l'officina che distribuisce l'energia la produca sul posto ed allora non vi ha un vero trasporto d'energia, ma una semplice distribuzione; ma può anche darsi che l'officina di distribuzione riceva a sua volta l'energia da una officina di produzione situata da essa ad una certa distanza. Ciò avviene generalmente quando si utilizzano per la produzione cadute d'acqua, ed allora vi ha un vero trasporto di energia.

La cosa sembra a tutta prima semplice, basterà tendere dei fili dall'officina di produzione a quella di distribuzione. Perfettamente; ma qual forma di corrente adopreremo, quale tensione, ecc., ecc.?

Per vedere più chiaramente le cose facciamo un esempio.

Supponiamo di possedere in *A* una caduta d'acqua e di voler utilizzare in *B*, a 10 Km. di distanza, l'energia della caduta. Possiamo usare pel trasporto una corrente continua, oppure una alternata monofase, bifase o trifase.

La caduta d'acqua può azionarci una dinamo oppure un alternatore monofase, bifase o trifase di, per es., 600 Kw. (800 cavalli vapore).

Supponiamo di mettere in *A* una dinamo di 600 Kw.; occorreranno da *A* a *B* due fili, uno per l'andata e l'altro pel ritorno della corrente. Noi useremo un potenziale piuttosto alto (e vedremo che ciò è conveniente) ottenibile da una dinamo: 600 volts.

Sappiamo che nei fili si perde dell'energia elettrica (che si trasforma in calore), è quindi certo che in *B* non avremo più 600 Kw., ma meno. Desideriamo avere una perdita nel filo che non superi $^1/_{10}$ dell'energia e cioè 60 Kw.

Se la potenza è 600 Kw., la tensione 600 volts, la corrente sarà:

$$\frac{600 \text{ Kw.}}{600 \text{ volts}} = 1000 \text{ ampères.}$$

Se chiamiamo *R* la resistenza del filo che impieghiamo, l'energia che in esso si consuma è uguale ad *R* moltiplicato per il quadrato della corrente e cioè:

$$R\ 1000^2 = 1.000.000\ R.$$

Abbiamo detto che questa perdita non deve superare 60 Kw. e perciò possiamo scrivere:

$$60 \text{ Kw.} = 1.000.000\ R,$$

dalla quale ricaviamo quale valore deve avere *R* affinchè la perdita stia nei limiti stabiliti,

$$R = 0{,}06 \text{ Ohm.}$$

L'esperienza ci dice che un chilometro di filo di rame puro del diametro di 1 mm. ha una resistenza di 20 Ohms; 20 chilometri dello stesso filo presenteranno una resistenza di 400 Ohms, ma in due fili di uguale lunghezza la resistenza è in ragione inversa della sezione dei fili, o del quadrato del diametro, perciò il filo che sarà necessario dovrà avere una sezione di X mm.

$$X^2 : 1 :: 400 : 0{,}06,$$

$$X^2 = \frac{400}{0{,}06} = 6667,$$

ossia il filo che dovremmo impiegare avrebbe il diametro di 8 centimetri e 2 millimetri, peserebbe in complesso circa 840 tonnellate ed avrebbe il valore di circa L. 2.500.000 senza contare quello che costerebbe il disporlo lungo la linea.

Se noi ci rassegnassimo a perdere lungo la linea anche la metà dell'energia (300 Kw.), dovremmo usare un filo del diametro di 3 centimetri e 7 millimetri, del peso di 182 tonnellate e del costo di circa 400.000. lire.

Da quanto sopra si è esposto appare chiaramente, se non l'impossibilità, almeno la non convenienza di impiegare la corrente continua pel trasporto dell'energia elettrica a distanze un po' considerevoli.

Supponiamo ora di voler fare lo stesso trasporto con una corrente alternata monofase, e, giacchè lo possiamo, con un potenziale di 30.000 volts.

Allora la corrente sarebbe:

$$\frac{600 \text{ Kw.}}{30.000 \text{ volts}} = 20 \text{ ampères},$$

la perdita:

$$20^2 R = 400 R,$$

e siccome questa deve essere $^1/_{10}$ di 600 Kw.,

$$400 R = 60 \text{ Kw.}$$

$$R = 150 \text{ Ohms},$$

per cui il filo dovrà avere un diametro di millimetri 1,7, peserà complessivamente 380 Kg. e costerà circa poco più di 1000 lire.

Perciò il trasporto è possibile con una corrente alternata monofase ad alto potenziale. Se noi facessimo il calcolo per la corrente bifase vedremmo che invece di due fili ne occorrerebbero quattro, ma che ognuno di essi dovrebbe avere una sezione metà di quella del filo che si dovrebbe usare col monofase e perciò la spesa sarebbe la stessa.

Vediamo invece il trasporto col trifase a 30.000 volts. Tenderemo solo tre fili e la corrente in ognuno di essi sarà: $\frac{20}{3}$ di ampères e perciò la perdita sarà:

$$\left(\frac{20}{3}\right)^2 R = \frac{400}{9} R,$$

$$\frac{400}{9} R = 60 \text{ Kw.}$$

$$R = 1350 \text{ Ohms.}$$

Un filo lungo 30 Km. e del diametro di 1 mm. ha una resistenza di 500 Ohms, per cui chiamando X il diametro del nostro filo, avremo

$$X^2 : 1 :: 600 : 1350$$

$$X^2 = \frac{600}{1350} = 0{,}44$$

$$X = 0{,}67$$

per cui colla corrente trifase basterebbero tre fili del diametro di mm. 0,67 del peso complessivo di 140 Kg. e del costo inferiore a 500 lire.

Per cui possiamo dire che il metodo più economico per trasportare quella certa energia di 600 Kw. è quello a corrente trifase.

Riepilogando, concluderemo: che la corrente continua non si presta per il trasporto dell'energia elettrica a distanze alquanto rilevanti, che invece vi si prestano le correnti alternate ad alto

potenziale e, fra queste, la più economica è la trifase e che il trasporto dell'energia elettrica a distanza è tanto più economico quanto più il potenziale è elevato.

Si comprende subito come non si possa avere alla officina di distribuzione lo stesso potenziale che si ha alla officina di produzione, per effetto della caduta di potenziale lungo la linea.

Questa caduta di potenziale è uguale al prodotto della resistenza della linea per la corrente che la percorre.

Così negli esempi da noi visti circa il trasporto di quella certa energia di 600 Kw., la caduta di potenziale, nel caso della corrente continua, sarebbe di 60 volts su 600, nel caso di corrente alternata monofase di 3000 volts su 30.000, nel caso di corrente trifase di 3000 volts su 30.000: nei tre casi la caduta di potenziale è di $^1/_{10}$ e cioè nella stessa proporzione della energia dispersa lungo la linea (ciò che del resto era dato prevedere).

Queste linee pel trasporto dell'energia a distanza, sono generalmente aeree, situate su isolanti portati da pali. In genere sono trifasi, per la ragione economica sopradetta, ma in genere anche hanno più di tre fili e cioè un numero di fili multiplo di tre.

Ma ciò non varia nulla; se, per es., vediamo nove fili, vuol dire che ogni fase è portata da tre fili, i quali funzionano come tre parti staccate di un solo filo. Ciò si fa perchè, se i fili fossero solo tre, la rottura di uno inutilizzerebbe la conduttura, se invece sono nove la rottura di un filo non rompe il circuito, il quale sarà costituito di due fasi che hanno ciascuna a disposizione tre fili e di una terza fase che ne ha due soli, finchè il quarto non sia riparato.

Perturbazioni dovute all'induzione dei fili trasportanti correnti alternate. — Supponiamo (Tav. VII, fig. 55), che nel filo *AB* passi una corrente alternata qualunque. Se noi prendiamo un altro filo *CDR* e disponiamo un tratto di questo, per es., *CD*, parallelo al filo *AB*, nel circuito *CDR* passa pure una corrente alternata dovuta all'induzione della corrente che passa in *AB*.

Questo fenomeno può benissimo sfruttarsi per intercettare fonogrammi e telegrammi.

Se, per es., *AB* (Tav. VII, fig. 56), rappresenta una linea telefonica e se noi mettiamo un filo *CD* parallelo ad *AB* e riunito su di un telefono *T*, a questo telefono noi potremo sentire i fonogrammi che passano per *AB*.

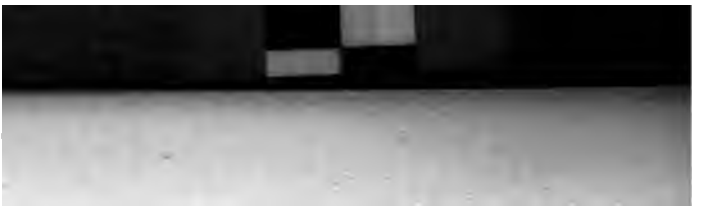
Ciò fa intendere come una conduttura di energia elettrica nella quale passino forti correnti possa grandemente perturbare una linea telefonica o telegrafica che si trovi ad essere per qualche tratto parallela alla conduttura d'energia.

Così pure queste condutture di energia elettrica perturbano, anche a grande distanza, per complessi fenomeni d'induzione, i delicatissimi apparecchi che si trovano nei gabinetti elettrotecnici.

Nello stesso modo, nella stessa conduttura, per es., trifase, se i fili sono paralleli avviene che la corrente che passa nell'uno perturba quella che passa nell'altro. È per rendere minore tale perturbazione reciproca che in molte condutture i fili non sono messi paralleli ma in modo che essi si incrocino (Tav. VII, fig. 57) senza toccarsi.

Parafulmini. — Ognuno di noi ha osservato nelle condutture d'energia certi speciali apparecchi che si presentano all'occhio come due corna metalliche. Tali apparecchi sono parafulmini (Tav. VII, fig. 58). La linea *AP* sia quella da proteggere, dal punto *B* si fa partire un circuito *BCDE* che viene condotto a terra ed è interrotto nel tratto *CD*. Su *C* e *D* si adattano due corna metalliche *CE* e *DF*. Normalmente la corrente passa da *A* verso *P*, ma se cade un fulmine sulla linea (il fulmine non è che una scarica oscillante ad altissimo potenziale ed a grandissima frequenza), la linea viene a presentare, per un effetto d'autoinduzione, una fortissima resistenza al passaggio della corrente ad alta frequenza generata dal fulmine e perciò la corrente stessa preferisce passare attraverso l'aria nel tratto *CD* formando un arco voltaico e scaricandosi a terra. L'arco voltaico, per un altro effetto d'induzione, viene spinto in alto e si rompe, perchè la distanza fra le due corna *CE* e *DF* si fa sempre più grande, e così è rotto il circuito che va a terra e la corrente normale seguita a passare da *A* a *P*.

Si comprende come più grande è il potenziale delle linee, mag-



giori debbano essere le precauzioni di isolarle, perchè sempre più grande si fa la tendenza al nascere di correnti fra il conduttore e la terra. Nelle linee ad alto potenziale l'isolamento dei fili è quindi assicurato con tutti i mezzi possibili.

Visto così come l'energia elettrica può, una volta generata, essere trasportata, vediamo come può venire utilizzata.

V.

Utilizzazione dell'energia elettrica.

Utilizzazione dell'energia elettrica. — L'energia elettrica viene usata generalmente per la produzione di energia meccanica, per la produzione di luce e di calore, per azioni elettrochimiche.

Una macchina alla quale diamo energia elettrica e che ci restituisce energia meccanica, costituisce un motore elettrico.

Motori elettrici. — Si distinguono a seconda della forma della corrente che impiegano e perciò avremo:

Motori a corrente continua.

Motori sincroni a corrente alternata (monofasi, bifasi e trifasi).

Motori a campo rotante.

Questi ultimi impiegano correnti alternate bifasi o trifasi, il loro nome deriva da una proprietà speciale del campo magnetico impiegato, proprietà che vedremo a suo tempo.

Motori a corrente continua. — I motori a corrente continua non sono altro che delle dinamo. Se in una dinamo noi facciamo girare l'indotto, otteniamo una corrente elettrica continua; se invece vi facciamo arrivare una corrente continua, l'indotto della dinamo si mette a girare.

" E qui, come sempre, il Ferraris vide chiaro dinanzi a sè. " Trovato il trasformatore, che permette di raccogliere l'energia " elettrica sotto forma di corrente alternata e restituirla a gran- " dissima distanza con piccolissimo spreco, bisognava perfezionare " i mezzi per utilizzarla sotto forma di forza motrice, poichè " costituiva un forte ostacolo a tale applicazione la mancanza " di un motore elettrico, che con la corrente alternata funzio- " nasse in buone condizioni pratiche.

" Ed egli lo cercò; cercò il fenomeno nuovo, che gli permet- " tesse di ottenere una rotazione spontanea mediante la corrente " alternata, appunto per vincere la difficoltà dei motori cono- " sciuti, incapaci di avviarsi spontaneamente. Fu in quell'occa- " sione ch'egli ideò il campo rotante, che si ottiene con una " speciale combinazione di due correnti alternate. È notevole " che la scoperta fu fatta nei giorni stessi in cui egli stava " eseguendo uno studio sperimentale di un nuovo trasformatore " del Zipernowsky, studio il quale, com'egli lasciò scritto, era " il principio di uno assai più esteso, al quale si accingeva, e " che doveva comprendere l'intero sistema di distribuzione di " cui il trasformatore non è che un organo. Non ebbe agio di " compiere quello studio, come egli forse desiderava, ma ci com- " pensò donandoci il campo rotante; scoperta non dovuta al caso, " e neppure ad una ispirazione felice provocata dal semplice " spirito d'investigazione, che lo avesse portato a fermare la " sua attenzione su di un fenomeno interessante. Egli cercava il " fenomeno nuovo atto a risolvere il problema che gli appariva " di capitale importanza, e tanto maggiore perciò rifulge il " merito della scoperta.

" Son questi sui trasformatori e sulle rotazioni elettrodina- " miche i classici lavori di Galileo Ferraris, che a lui valsero " fama mondiale, all'elettrotecnica la possibilità di giungere ai " grandiosi impianti moderni di trasmissione dell'energia ". (Dal discorso pronunciato dal prof. Guido Grassi nell'aula della Scuola di Elettrotecnica in Torino, il 17 maggio 1903, nella solenne occasione dell'inaugurazione del Monumento a Galileo Ferraris).

Campo magnetico rotante. — Abbiamo detto altra volta che se in una spira di filo metallico *ab* (Tav. VII, fig. 60) facciamo

Questi motori hanno però due grandissimi difetti e cioè non si incamminano da sè e non possono lavorare che ad una data velocità: variando questa, si fermano. Per farli lavorare è necessario incominciare a farli girare finchè acquistino quella certa velocità, e quando l'hanno raggiunta immettere la corrente alternata. Si chiamano appunto *sincroni* perchè lavorano solo con velocità sincrona (uguale) a quella dell'alternatore che genera la corrente che essi adoperano (quando abbia lo stesso numero di poli). Si comprende come un motore di questo genere sia tutt'altro che pratico e come, se altro non vi fosse, difficilmente potremmo trasformare l'energia elettrica, sotto forma di corrente alternata, in energia meccanica.

Motori a campo rotante. Importanza. — Prima che il nostro Galileo Ferraris scoprisse il campo rotante e lo applicasse, l'elettrotecnica non poteva fornire che motori a corrente continua e motori sincroni a corrente alternata. Questi ultimi, come abbiamo visto, assolutamente non pratici. Fra i maggiori titoli di gloria del Ferraris va posto lo studio magistrale che egli fece del trasformatore a corrente alternata, apparecchio presentato all'esposizione di Torino nel 1884 da Luciano Gaulard.

" Non ben comprese dagli elettricisti e dall'inventore stesso, " le proprietà del trasformatore diedero luogo a discussioni e " controversie acerbe e ostinate.

" Galileo Ferraris, che potè avere a disposizione il nuovo ap- " parecchio, sentì, come egli stesso ebbe ad affermare, il dovere " di studiarlo per apportare qualche contributo alla soluzione " delle questioni dibattute. Ma poi, soggiunge, dalla discussione " dei risultati ricavai più di quello che dapprima aveva sperato " e cercato; tale discussione mi condusse ad uno studio teorico " dei fenomeni che avvengono nel trasformatore, studio che, con- " trollato dall'esperienza, venne a rischiarare la questione in modo " superiore alle previsioni.

" E con questo e con altri lavori, che vi fece seguire ben " presto, il Ferraris diede la teorica completa del trasformatore, " di questo apparecchio che effettivamente rese possibili le grandi " applicazioni moderne della distribuzione dell'energia elettrica " a distanza.

Quindi due campi alternati sinusoidali costituiti da un sistema di due spire normali l'una all'altra e percorse da correnti bifasi si compongono in un campo rotante il quale non è che un campo magnetico di intensità costante e che ruota attorno ad un asse normale alla sua direzione.

Il campo fa tante rotazioni nel 1″ quanti sono i periodi della corrente nello stesso tempo, ossia il numero delle rotazioni è uguale alla frequenza della corrente.

Se noi avessimo (Tav. VII, fig. 63) i due poli *S* ed *N* di una calamita e facessimo ruotare la calamita attorno al punto *O*, avremmo ancora un campo rotante; la differenza fra questo e quello sopra accennato è che pel secondo è necessario un movimento meccanico, mentre nel primo tutto resta fermo, il solo campo muove.

Nello stesso modo, e sarà inutile dimostrarlo, tre circuiti disposti a 120° e percorsi da una corrente trifase dànno ancora un campo rotante di intensità costante e che compie un giro ad ogni periodo.

In che modo un campo rotante può utilizzarsi per produrre un movimento?

Supponiamo (Tav. VII, fig. 64) una calamita *AB* imperniata nel punto *O* e libera di girare attorno a questo punto. Immergiamola in un campo magnetico rotante: essa, tendendo a rimanere sempre nella direzione del campo, sarà trascinata a girare.

Ma invece di mettere un magnete permanente nel campo rotante, mettiamoci (Tav. VIII, fig. 65) un nucleo di ferro *NN* avvolto da un circuito *abcd*. Supponiamo che il nucleo stia fermo, allora avremo nell'avvolgimento *abcd* la produzione di una corrente alternata, perchè ci troveremo precisamente nello stesso caso dell'avvolgimento indotto di un alternatore ad indotto mobile. (L'induttore di un alternatore produce un campo magnetico in direzione costante, ma quando l'induttore gira la direzione del campo ruota anch'essa intorno all'asse di rotazione dell'induttore).

Le correnti che avvolgono il nucleo di ferro *NN* sono tali che magnetizzano il nucleo in una certa direzione *SS*. Questa direzione *SS* risulta sempre un po' inclinata sulla direzione istantanea del campo rotante; tendendo i due campi a mettersi

sulla stessa direzione il nucleo *NN* tende a spostarsi attorno al proprio asse e se può si mette a ruotare intorno a questo stesso asse. Un motore a campo rotante viene quindi ad essere costituito di due parti, una fissa che si chiama *statore* ed una mobile che si chiama *rotore*.

Lo *statore* di un motore a campo rotante bifase, è (Tav. VIII, fig. 66) formato da un anello a sezione rettangolare, di ferro dolce, nel quale sono praticati dei fori *aa' bb'*; nei primi passa il filo che forma il primo avvolgimento, nei secondi il filo che forma il secondo avvolgimento.

Le estremità *c*, *c'* e *d*, *d'* dei due avvolgimenti vengono al di fuori dell'anello e ad esse si uniscono i fili che portano la corrente alternata bifase. Questi due avvolgimenti sono disposti normalmente l'uno all'altro e provocano il campo rotante nello spazio interno dell'anello.

Lo statore di un motore a campo rotante trifase è costituito nello stesso modo, solo porta tre avvolgimenti invece di due, e disposti a 120 gradi uno sull'altro. Delle sei estremità di detti avvolgimenti, tre sono unite fra di loro, le altre tre sporgono e vengono unite ai tre fili che portano la corrente trifase.

Il rotore non differenzia, sia il motore bifase o trifase. È un nucleo di ferro dolce portante un asse e girevole su questo. Sul nucleo si avvolge, in genere entro fori praticati sulla sua superficie, un grosso filo di rame isolato, come si avvolgerebbe un gomitolo, e gli estremi del circuito vengono uniti fra di loro.

Questo motore, come si vede, è della massima semplicità e non presenta nessun organo delicato nè complesso.

Esso si incammina da sè, però sviluppando da principio una piccola forza. Vi sono sistemi molto semplici per obbligarlo a sviluppare una forza molto superiore anche all'inizio del movimento. Questi motori lavorano bene, ma non bisogna però esigere da essi grandi variazioni di velocità, variazioni che però possono ottenersi, entro certi limiti, accoppiando due di tali motori. Detti motori possono impiegare correnti di potenziale piuttosto elevato, potendosi facilmente isolare le loro parti.

Impianti elettrici di produzione. — Trasporto e distribuzione di

energia. — Nella località *A* vi è una sorgente di energia, p. es. un salto d'acqua, in *B* questa energia si può utilizzare.

Perciò in *A* verrà stabilita un'officina di produzione idroelettrica, fra *A* e *B* sarà stabilito un impianto di trasporto di energia, in *B* verrà stabilita un'officina di distribuzione.

Officina di produzione. — Vi saranno degli alternatori trifasi, generalmente di grande potenza (perchè costano relativamente meno e rendono di più), e ad elevato potenziale, mossi da turbine azionate dal salto d'acqua. Vi sarà qualche alternatore di riserva pel caso di guasti e per poter fornire a tutti gli alternatori un turno di riposo. Vi potranno esservi dei trasformatori trifasi elevatori di tensione nel caso che la tensione prodotta dagli alternatori fosse inferiore a quella che si vuol ottenere sulla linea. Vi saranno forse delle macchine a vapore di riserva da impiegarsi solo nel caso di magre d'acqua e di guasti alle turbine. Vi sarà pure un quadro elettrico sul quale saranno riuniti gli apparecchi interruttori, regolatori, le valvole di sicurezza, gli apparecchi di misura e di distribuzione.

Queste officine per quanto grandiose richiedono un personale minimo, in esse molti apparecchi non si debbono toccare pena la morte.

Impianto pel trasporto. — Dall'officina di produzione l'energia elettrica esce per un numero di fili multiplo di tre, e questi corrono fra *A* e *B* su di una palificazione.

Lungo la linea saranno disposti parafulmini ed apparecchi sicurezza per la linea e le persone.

Officina di distribuzione. — L'energia che qui giunge pot nel caso generale, essere distribuita sotto forma di corrente ternata o di corrente continua a diversi potenziali.

Prima cosa da fare appena l'energia giunge all'officina distribuzione è quella di abbassarne il potenziale che in gene sarà troppo elevato. Perciò vi saranno dei trasformatori trifa Ottenuta così una corrente trifase a più basso potenziale, quest potrà venire subito distribuita mediante fili che raggiungeranno il luogo di utilizzazione, qualora si intenda distribuire energi

elettrica con corrente alternata trifase. Altre volte occorrerà convertire questa corrente trifase in una bifase o in una corrente continua, ed allora col trifase si faranno azionare motori a campo rotante, i quali a loro volta azioneranno alternatori o dinamo che produrranno la corrente voluta. Quando si tratti di distribuire la corrente continua (luce, trazione) vi saranno ancora batterie di accumulatori che, come vedremo, servono da regolatori. All'officina di distribuzione vi sarà poi il quadro di distribuzione collegante tutti gli apparecchi di interruzione, manovra, misura, sicurezza, ecc.

Tanto nell'officina di produzione come in quella di distribuzione si sviluppano potenti campi magnetici e così facilmente vengono calamitati gli oggetti d'acciaio che si portino in questi stabilimenti, nei quali i comuni orologi non camminano più e pei quali si fabbricano orologi antimagnetici.

Distribuzione. — Mediante fili in numero conveniente si distribuisce l'energia mantenendo questi fili a differenze costanti di potenziale continuo od alternato (Tav. VIII, fig. 67). Gli apparecchi utilizzanti l'energia si attaccano a questi fili in derivazione. Questo sistema di distribuzione, oramai quasi universalmente adottato, chiamasi distribuzione a *potenziale costante* (per distinguerlo da quello, abbandonato, ad intensità costante).

Officine di produzione e di distribuzione. — Allorchè non vi sia bisogno di eseguire il trasporto dell'energia elettrica a grandi distanze, ed è in generale il caso in cui per la produzione si impiegano esclusivamente macchine a vapore perchè queste si possono situare nelle località più convenienti allo scopo, si usano direttamente le macchine elettrogeniche necessarie a produrre le correnti che debbono essere distribuite.

Officine meccaniche con trasmissioni elettriche. — Nelle grandi officine meccaniche, per mettere in azione le macchine operatrici, fino a poco tempo fa, esistevano grandi alberi motori portanti delle pulegge sulle quali si facevano passare le cinghie di trasmissione che azionavano i volanti delle macchine operatrici. Questi grandi alberi motori venivano poi a loro volta messi in

moto da una macchina a vapore. L'energia sviluppata dalle macchine a vapore giungeva quindi alle macchine operatrici, che la utilizzavano, mediante una lunga serie di trasmissioni meccaniche che ne assorbivano una gran parte.

Attualmente si va sostituendo, nelle moderne officine meccaniche, alla trasmissione meccanica quella elettrica. La generatrice a vapore mette in azione una dinamo. La corrente da questa prodotta per mezzo di due fili corre per tutta l'officina. Ogni macchina operatrice è fornita di un conveniente motorino elettrico unito con due fili alla conduttura principale, ed ognuno di essi può mettersi in movimento per conto proprio. L'energia elettrica può fornire nello stesso tempo la luce necessaria all'officina. Abbiamo con questo metodo una duplice trasformazione di energia meccanica in elettrica e viceversa, duplice trasformazione che assorbe dell'energia, ma sembra in minor quantità di quella che assorbiva la trasmissione meccanica. Colla trasmissione elettrica è naturale poi che abbiamo una maggior economia nella costruzione della officina che non deve più resistere ai forti pesi ed alle forti scosse degli antichi pesanti alberi motori caricati di puleggie.

Calcolo delle macchine elettriche. — Tutti i fenomeni sui quali si fondano le macchine elettriche posseggono cause ed effetti legati da relazioni esattamente studiate e matematicamente stabilite. Perciò i progetti delle macchine elettriche vengono calcolati esattamente *a priori* e tutte le dimensioni dei materiali che servono a comporle sono stabilite col calcolo.

Ed è appunto in queste macchine che la teoria si avvicina maggiormente alla pratica, sì che l'attuazione in officina di un progetto studiato a tavolino dà risultati ottimi e che differenziano di quantità trascurabili dagli effetti desiderati. Tutte queste macchine sono, si può dire, perfettamente determinate una volta che ne sia stabilita la *potenza* e la *tensione* che si vuol ottenere; non vi è più nulla da prendere a capriccio, allorchè si ponga per condizione di ottenere dalla macchina il maggior rendimento. Le macchine elettriche sono quindi macchine che presentano una piccola latitudine di perfezionamento, avendo un rendimento altissimo; si comprende come un alternatore che dia il 97 per °/₀,

per quanto si faccia, non potrà dare un rendimento molto superiore, giacchè il limite, non raggiungibile, perchè realizzerebbe il moto perpetuo, è il rendimento del 100 per 100.

Questo però non vuol dire che le macchine stesse non si possano perfezionare, sia nel funzionamento, sia nei particolari di costruzione.

Accumulatori. — Per accumulatore s'intende una specie di serbatoio capace di contenere una certa quantità di energia elettrica a nostra disposizione in un momento qualunque. Ora il principio sul quale si basano gli attuali accumulatori è questo: produrre mediante una energia elettrica una variazione instabile in uno stato fisico-chimico di un corpo per riavere la stessa energia allorchè il corpo stesso riprende il suo equilibrio fisico chimico. Se, per es., noi comprimiamo una molla, accumuliamo in essa l'energia che è stata necessaria a comprimerla: lasciandola distendere, la molla ci restituisce, a meno delle inevitabili perdite, l'energia meccanica accumulata.

Gli accumulatori elettrici si basano su reazioni elettro-chimiche. Noi sappiamo che la corrente elettrica continua è capace di decomporre l'acqua nei suoi elementi H ed O.

Introducendo nell'acqua, resa un po' acidulata per diminuirne la resistenza elettrica, i due poli di una pila, l'H si svolge all'elettrodo negativo (anodo) e l'O all'elettrodo positivo (catodo).

Se noi mettiamo due lamine di piombo A e B (Tav. VIII, fig. 68) nell'acqua acidulata e riuniamo queste lamine ai poli di una pila, avremo che l'ossigeno portandosi verso l'elettrodo positivo ossida il piombo (A) dell'elettrodo positivo, mentre l'idrogeno riduce (ossia disossida) il piombo (B) dell'elettrodo negativo. Togliendo la pila e riunendo con un circuito le due lamine di piombo, passa nel circuito una corrente nel senso contrario, funzionando l'apparecchio come una pila (e si chiama pila secondaria).

La corrente data prima chiamasi: di carica, quella che si ha dopo: di scarica, e s'intende che sono necessariamente correnti continue. La prima volta che si fa questa operazione, l'apparecchio, che appunto prende il nome di accumulatore, ha una piccola capacità, e cioè può accumulare solo una piccola quan-

tità d'energia, ma ripetendo le cariche e le scariche si viene ad ottenere una capacità più grande dovuta ad uno speciale stato fisico-chimico del piombo. — Tale preparazione dell'accumulatore è lunghissima e può durare dei mesi. Questo è l'accumulatore dovuto al Plantè, che l'inventò verso il 1859.

La lunga durata di questa preparazione rende naturalmente costosi gli accumulatori e si pensò quindi di renderla più breve.

Visto che la durata di preparazione dipendeva dal fatto che le successive cariche e scariche riuscivano, dopo molto tempo, ad ossidare profondamente il piombo, si pensò di facilitare questa profonda ossidazione. Allora si spalmarono le lastre di piombo con una pasta di ossidi di piombo; assoggettando queste lastre ad una corrente si veniva ad ottenere, in una lastra, biossido e nell'altra piombo spugnoso, e cioè, si riusciva in breve tempo a produrre quello che il Plantè otteneva dopo molto tempo. Questo metodo è dovuto al Faure, che lo applicò nel 1881.

In ambedue i sistemi è poi utile che le lastre presentino una grande superficie con un peso relativamente piccolo, perchè più grande è la superficie, maggiore è la reazione chimica e maggiore la capacità dell'accumulatore.

Seguirono Plantè e Faure una grande quantità di inventori i quali non fecero che variare la forma delle lastre di piombo, per dar loro una maggior superfice con un peso minore, e per renderle meglio capaci a contenere quella certa pasta di ossidi di *Pb*, oppure variarono la composizione di alcuni ingredienti secondari della pasta stessa. Però restò sempre il *Pb* la base dell'accumulatore, e chi dice piombo dice peso, anzi dopo anni di prova si venne alla conclusione che il sistema migliore di preparazione è ancora il più antico ed il più lungo: il Plantè.

Furono tentati altri sistemi impiegando altri metalli, ma la vittoria rimase sempre a quelli a base di piombo; credo che attualmente sieno stati sperimentati tutti i metalli semplici e composti immaginabili, perchè certo un accumulatore leggero sarebbe un ideale; e perciò ritengo debbano sempre accettarsi, con beneficio d'inventario, quelle mirabolanti notizie che ogni tanto appaiono nei giornali, in tempo di magra di notizie, sulle invenzioni d'accumulatori leggeri. Forse, e sul progresso della scienza non è dato disperare, si verrà un giorno a trovare un

accumulatore d'energia elettrica leggero, ma questo, a parer mio, sarà fondato su principi affatto diversi dagli attuali.

Vediamo che cosa significa *peso di un accumulatore*. Un accumulatore è capace di darci una certa energia per un certo tempo. Così noi chiameremo *peso specifico* dell'accumulatore, il peso d'accumulatore necessario per ottenere 1 Kw. durante un'ora, ossia il peso dell'accumulatore per Kw.-ora. Un accumulatore tipo Walls per automobili (quindi dei più leggeri) pesa 65 Kg. per Kw.-ora.

La benzina costituisce un accumulatore di energia chimica calorifica; vediamo che energia ci rappresenta accumulata il peso di 65 Kg. di benzina. Ogni Kg. di benzina rappresenta 11.000 calorie, ogni caloria 425 chilogrammetri; per cui 65 Kg. di benzina ci rappresentano:

$$65 \times 11.000 \times 425 = 303.875.000 \text{ chilogrammetri.}$$

Un cavallo-vapore rappresenta 75 chilogrammetri al 1'', per cui in un'ora un cavallo vapore:

$$75 \times 60 \times 60 = 270.000 \text{ chilogrammetri,}$$

ma 1 Kw. è uguale ad 1,36 cavalli-vapore, per cui un Kw.-ora rappresenta:

$$270.000 \times 1,36 = 367.200 \text{ chilogrammetri,}$$

e perciò 65 chilogrammi di benzina ci possono dare un numero di Kw.-ora:

$$\frac{303.875.000}{367.200} = \text{circa } 800.$$

Perciò la benzina rappresenta un accumulatore d'energia circa 800 volte più leggero dell'accumulatore elettrico (1).

---

(1) S'intende che questo calcolo è tutt'affatto teorico e dimostrativo; praticamente bisognerebbe calcolare in che proporzione si può utilizzare l'energia latente posseduta dalla benzina. Un motore a petrolio Diesel della potenza di 25 cavalli-vapore, consuma circa 250 grammi di petrolio per

Un elemento d'accumulatore è costituito da due lastre di piombo l'una positiva e l'altra negativa (che si distinguono pel loro diverso colore, l'una grigio piombo, l'altra rossastra). Qualunque sia la grandezza dell'elemento d'accumulatore la differenza di potenziale ai suoi poli è sempre la stessa, circa 1,9 volts, varia invece l'intensità di corrente che può produrre, circa $^1/_2$ ampère per chilogrammo di piombo (eccezionalmente, per poco tempo, e col rischio di rovinarlo si può giungere a 1, 2, 3 ampères per Kg. di piombo).

Allorchè si voglia ottenere un potenziale superiore è necessario riunire parecchi elementi in serie (Tav. VIII, fig. 69), allora si ha, agli estremi *A* e *B*, la somma delle differenze di potenziale di tutti gli elementi. Così, se si volesse ottenere un potenziale di 600 volts, sarebbe necessario riunire in serie un numero di elementi uguali a:

$$\frac{600}{1,9} = 316.$$

Si noti che in questo caso avremo bensì un potenziale di 600 volts, ma sempre la stessa corrente che passa in un solo elemento. Se vogliamo una corrente più intensa è necessario riunire la serie in parallelo o riunire elementi in parallelo prima di costituire la serie (Tav. VIII, fig. 70): in questo modo avremo agli estremi *A* e *B* una corrente, somma delle correnti che passano nelle diverse serie. Se, per es., ogni elemento pesa in *Pb* 100 Kg. e può produrre quindi 50 ampères, volendone 1000 dovremo riunire in parallelo 20 serie.

Diversi elementi così riuniti formano una batteria d'accumulatori. Nel caso sopra detto è una batteria di 20 serie ciascuna di 316 elementi del peso di 100 Kg. di piombo l'uno, ossia del peso totale di 632 tonnellate di *Pb* e della potenza di 600 Kw. (800 cavalli circa).

---

cavallo-ora (Hospitalier, *Formulaire de l'électricien*), perciò con 65 Kg. di petrolio si potrebbero ottenere $\frac{65}{0,250} = 260$ cavalli-ora e cioè circa 200 Kw.-ora. Praticamente dunque il petrolio (calorie 10.206 per Kg.) è un accumulatore 200 volte più leggero dell'accumulatore elettrico.

Carica degli accumulatori. — Una batteria d'accumulatori va caricata con una corrente pressochè uguale a quella che è capace di fornire; una carica rapida ed energica ne mette in pericolo il funzionamento.

Scarica degli accumulatori. — La scarica normale degli accumulatori ha una durata inferiore al tempo necessario per caricarli. Il loro rendimento, e cioè il rapporto fra l'energia che restituiscono e quella che hanno assorbita, è di circa 85 per 100. Il funzionamento è tanto migliore quanto la scarica è più regolare e priva di sbalzi di corrente.

Accumulatori impiegati come trasformatori di tensione di corrente continua. — Una batteria d'accumulatori può venir caricata con una tensione pari a quella che essa può fornire, o poco differente. Una volta caricata noi possiamo comporre diversamente la batteria e scaricarla perciò sotto una tensione diversa. Per esempio, la batteria rappresentata nella Tav. VIII, fig. 70, di 12 elementi come è, si può caricare con una tensione di $4 \times 1{,}9 = 7{,}6$ volts; una volta caricata noi possiamo riunire tutti e 12 gli elementi in serie ed avere una tensione di $12 \times 1{,}9 = 22{,}8$ volts. Questo sistema può servire per variare le tensioni delle correnti continue.

Accumulatori per trazione. — Si cerca di renderli più leggeri e capaci di qualche sbalzo di corrente anche a scapito della durata di conservazione.

Accumulatori come regolatori nelle distribuzioni a corrente continua. — Questo è forse l'unico impiego veramente vasto e pratico degli accumulatori. Supponiamo di avere (Tav. VIII, fig. 71) un'officina di distribuzione in cui una motrice a vapore *M* azioni una dinamo *D* la cui energia serva a scopo di luce, di trazione, ecc. Si comprende come durante la giornata, compresa la notte, possano variare molto gli apparecchi che utilizzano l'energia della dinamo, come insomma questa sia costretta a lavorare sotto carichi molto variabili; nello stesso modo dovrà lavorare la motrice *M*, ora una macchina che lavora sotto carichi variabili lavora male. Di più è necessario che la potenza della motrice *M* sia sufficiente pel carico massimo, mentre vi saranno dei momenti in cui avrà

da sviluppare uno sforzo minimo, e può darsi che in certe ore non abbia da fare nessun lavoro, per es., di notte. Si applica allora una conveniente batteria d'accumulatori A nel circuito ed una motrice capace dello sforzo medio, la quale motrice lavorerà sempre nello stesso modo.

Quando il carico della linea è inferiore al medio il soprappiù dell'energia elettrica è assorbito dagli accumulatori; quando il carico è superiore al medio, la differenza è colmata dalla corrente che gli accumulatori mandano nella linea. L'azione regolatrice di questa batteria è perfetta, tale che si dice si possa togliere il regolatore della macchina a vapore. Queste batterie sono fisse e quindi poco monta il loro peso e quantunque molto costose riescono convenienti. Esse funzionano precisamente come funzionano i serbatoi d'acqua nelle condotte idrauliche.

Il corto circuito. — Il corto circuito è la spada di Damocle che pende sempre sul capo degli elettricisti.

Viene così chiamato per una specie di antitesi coi lunghi circuiti che, in generale, la corrente elettrica deve normalmente percorrere; si dice anche un *contatto* e dovrebbe chiamarsi una *piccola resistenza.* Abbiamo visto che le macchine elettriche ci forniscono una certa differenza di potenziale costante od efficace fissa e che esse hanno una certa potenza; noi sappiamo che dividendo la potenza pel potenziale troviamo la corrente che, in questo caso, è la massima che la macchina può dare.

Supponiamo una macchina della potenza di 600 Kw. e della tensione di 1000 volts. La corrente massima che possiamo pretendere da questa macchina è

$$\frac{600 \text{ Kw.}}{1000 \text{ volts}} = 600 \text{ ampères.}$$

Per ottenere 600 ampères, siccome sappiamo che la corrente è uguale alla differenza di potenziale divisa per la resistenza del circuito, dovremo fra i poli della macchina mettere una resistenza R

$$\frac{1000}{R} = 600$$

$$R = 1{,}67 \text{ Ohms.}$$

Finchè il circuito esterno ha una resistenza superiore a 1,67 la corrente sarà inferiore a 600 ampères, ma se la resistenza diventa minore crescerà la corrente, ossia la macchina dovrà lavorare al disopra della potenza normale.

Non solo. Essendo la macchina stata costrutta per una corrente di 600 ampères, non potrà certamente sopportarne una molto superiore. Tutto l'avvolgimento della macchina, costituito da fili di rame rivestiti di isolante, è percorso dalla corrente, e sappiamo che esso si riscalda trasformando in calore una energia elettrica uguale alla propria resistenza, per es., r, pel quadrato della corrente.

Finchè la corrente rimane sui 600 ampères la cosa è normale, il riscaldamento non produce guasti, ma se la corrente cresce, il riscaldamento cresce in ragione del quadrato della corrente, e può bruciare l'isolante e rovinare la macchina.

In generale il circuito unito ai poli di una macchina elettrogenica è molto lungo, gli avvolgimenti dei motori, dei trasformatori sono certe volte lunghi migliaia di metri, tutto il complesso presenta una resistenza che non lascia sorpassare alla corrente il suo valore normale. Ma se ad un tratto due fili vengono a toccarsi, questo punto di contatto mette fuori del circuito tutta una parte di esso, la resistenza del circuito diventa piccolissima, una corrente potente invade il circuito più corto così formato, rovina ed incendia le macchine che in esso si trovano. Tutto è dunque dovuto alla sostituzione di un circuito più corto ad uno più lungo e più esattamente alla sostituzione di un circuito che presenta una resistenza molto minore del normale.

Valvole di sicurezza. — Ad evitare i danni che possono venire causati dai corti circuiti, furono ideate le valvole di sicurezza che piuttosto potrebbero dirsi *interruttori di sicurezza.* Se, non appena un corto circuito si manifesta, noi interrompiamo la corrente, potremo avere la speranza di salvare gli apparecchi. Il corto circuito produce una corrente più intensa della normale, questa corrente riscalda i fili nei quali passa ad una temperatura più elevata della normale; se noi intercaliamo nel filo di rame un tratto di filo più facilmente fusibile del rame, otterremo

che questo si fonderà prima ed, interrompendo il pass della corrente, le impedirà di compiere ulteriori guasti.

Le valvole non sono appunto altro che fili di piomb altro materiale facilmente fusibile, i quali vengono inter nella conduttura nei punti convenienti per proteggerla. volte però la corrente dovuta ad un corto circuito è tal potente che fulmina, direi quasi, gli apparecchi prima c valvole abbiano avuto tempo di fondersi. Un filo telegraf telefonico che cade su di una conduttura di energia ele stabilisce un corto circuito, se tocca almeno due fili, ed in modo rovina facilmente gli apparecchi telegrafici o tele arrecando loro correnti alle quali detti apparecchi non abituati; è per questo che si prendono opportuni provvedi per evitare tali contatti.

VI.

La trazione elettrica.

Automobili. — Gli automobili detti elettrici impiegano, per azionare il loro motore, dell'energia elettrica immagazzinata in accumulatori portati sull'automobile stesso. Come motori, ed impiegano motori in serie, sono perfetti perchè nessun motore a vapore od a benzina può competere col motore elettrico, ma l'obbligo di servirsi di accumulatori toglie ad essi moltissimi vantaggi ed arreca grandissimi difetti.

Sono pesanti, hanno piccolo raggio d'azione (80-100 Km.), male si prestano a variazioni di velocità e di pendenza, necessitano, per rifornirsi di energia, di una conveniente sorgente elettrica, mettono più tempo per caricarsi che non a scaricarsi. Sono infine automobili da città, che non possono assolutamente servire per viaggi.

Compaiono ora in commercio automobili di tipo misto i quali sono delle complete officine elettriche ambulanti. Di fatto essi posseggono un motore a benzina che aziona una dinamo la quale mette in moto il motore elettrico dell'automobile, vi è inoltre una piccola batteria d'accumulatori per la regolazione. Sembra che vadano bene e di fatto il motore a benzina, in questo caso, può marciare a velocità costante, perchè suo ufficio non è che quello

di azionare la dinamo, non è quindi soggetto ai rapi di velocità e di forza motrice come quelli degli attuali bili a benzina; il motore elettrico inoltre funziona perfe come motore di trazione, e forse la complicazione ch esistere in questo tipo misto non è che apparente. ricordare a questo proposito, che in una lettura da circa tre anni fa, quando ancora di questo tipo mist parlava in Italia, all'Associazione Elettrotecnica Itali l'*Automobilismo militare*, proposi appunto un sistema d genere per la risoluzione del problema dell'automobil litare (1).

---

(1) G. Douhet, *L'Automobilismo sotto il punto di vista militare.* un sistema automobilistico militare. Casanova, Torino. — La cor l'orizzonte automobilistico del treno Renard mi sospinge a di parola di più a questo proposito. Come tutti sanno, il treno Re stituito da un automobile di testa che distribuisce l'energia al movimento ai carri automotori, che gli sono uniti, mediante albero motore, snodato per mezzo di giunti cardanici; mediant speciali tutti i veicoli sono costretti a seguire la strada percorsa Il treno da me proposto, fino dall'inverno 1900-1901 ed al quale fortuna non ha sorriso che forse in questi ultimi tempi, è costitu serie di veicoli automotori elettrici, cioè possedenti un motor capace di azionarne le ruote. Su uno di questi veicoli si dispone elettrogenico composto da un motore a benzina e da una dinar veicolo viene chiamato *generatore mobile* ed è esso che fornisce l' varî carri automotori che formano il treno. La distribuzione per mezzo di cordoni metallici flessibili ed ogni veicolo ha propria.

Tanto il mio sistema, e lo metto prima per riguardo all'anziani quello del Renard hanno lo scopo di rendere aderente tutto treno, la differenza sta solo nel metodo usato per la distribuzione d Non è questo il posto più opportuno per stabilire un rapporto i due metodi d'attuazione del medesimo concetto, spassionatar piacemi affermare che ritengo il metodo della distribuzione el pratico di quello della trasmissione meccanica e spero che l'espe fermerà presto o tardi queste mie parole.

Quanto sopra scrivevo l'anno scorso in novembre e la conf mie parole non si è fatta lungamente attendere. Del treno F se ne hanno più notizie, dopo i primi entusiasmi esagerati, - 31 luglio 1904 - della Rivista " La trazione elettrica „ si legge i articoletto:

" *Treni elettrici per strade ordinarie.* Vengono costruiti agli

Trazione elettrica tramviaria e ferroviaria. — Sembra, a tutta prima, che poca differenza debba esservi fra la trazione tramviaria e quella ferroviaria e che tutto si riduca ad una questione di diversa grandezza e di diversa potenza. Invece, e solo in causa della differente lunghezza delle linee tramviarie e ferroviarie la questione va risolta molto diversamente. Una linea

---

" dei treni per strade ordinarie basati su principî diversi da quelli impie-
" gati dal colonnello Renard.

" Invece di una trasmissione meccanica fra il motore e gli altri veicoli
" si è ricorso ad una trasmissione elettrica. Si è costruito recentemente un
" treno di questo genere pel trasporto del borace nella Death Valley in
" California. Il successo è stato tale che sette altri treni consimili sono
" stati ordinati alla medesima Ditta costruttrice, la Gibbs Engineering
" Company di Glendale: essi sono attualmente in costruzione.

" Ogni treno si compone di 7 veicoli, di cui uno porta il motore. È questo
" un motore a petrolio a quattro tempi e a tre cilindri da 70 HP e co-
" manda una dinamo generatrice. La corrente aziona dei motori che coman-
" dano le ruote motrici del primo veicolo e quelle di ciascuno degli altri
" veicoli. Tutto il carico è quindi impiegato per l'aderenza ed il primo
" veicolo non ha bisogno di avere un peso considerevole.

" Ognuno dei veicoli pesa circa 4400 Kg. e può ricevere un carico di
" 13.500 Kg.; la costruzione è quasi esclusivamente in acciaio e il carico
" si fa con porte laterali. Il primo veicolo che porta motore e dinamo
" pesa 6800 Kg. in ordine di marcia.

" L'insieme del treno è munito di freno Westinghouse.

" Il primo veicolo è manovrato come un automobile ordinario: gli altri
" veicoli portano una quinta ruota e una specie di arco, che si attacca a
" quello del veicolo vicino: ne risulta che quando si cambia la direzione
" del primo veicolo, ogni veicolo rimorchiato descrive prontamente un arco
" di cerchio simile. I freni essendo manovrati dalla vettura anteriore, l'in-
" sieme del treno è guidato da una sola persona.

" In un altro tipo costruito dalla stessa Casa, non vengono rimorchiati
" che due veicoli: il primo pesa sei tonnellate in ordine di marcia, porta
" due motori di 6 HP che ricevono la corrente a 220 volts da un genera-
" tore azionato da un motore a benzina a tre cilindri da 40 HP.

" Gli altri due veicoli rimorchiati pesano vuoti 2300 Kg. e possono por-
" tare un carico di 10 T. Le loro ruote motrici sono comandate da due
" motori elettrici da 5 HP, che ricevono, per mezzo di un conduttore fles-
" sibile, la corrente dal generatore „.

Come facilmente si scorge, tutto ciò non è che l'attuazione completa delle mie idee, che io, *nemo propheta in patria*, dovetti lottare semplicemente per poterle pubblicare (Genova, dicembre 1904).

ferroviaria elettrica implica sempre un trasporto di energia elettrica, e di una potente energia, mentre una linea tramviaria implica solo una distribuzione di una energia, al confronto, molto meno potente.

Trazione tramviaria elettrica. — Fra tutti i motori elettrici vedemmo essere quello in serie a corrente continua che meglio si presta alla trazione, perchè è capace, fino dall'inizio del movimento, di sviluppare uno sforzo potente e perchè lo si può far marciare a velocità molto variabili e facilmente regolabili. Questo motore implica l'uso di una corrente continua la quale non si presta al trasporto dell'energia elettrica a distanza. Si vede però che tale corrente continua potrà impiegarsi per linee tramviarie, le quali, in genere, non presentano grande sviluppo. Anche quando l'energia elettrica invece d'essere trasmessa alle vetture per mezzo di conduttore, venga trasportata dalla vettura per mezzo di accumulatori, i quali forniscono appunto una corrente continua, il motore impiegato sarà quello in serie.

Generalmente dunque nelle vetture tramviarie, di qualunque sistema esse sieno, il motore sarà quello in serie. Detto motore viene applicato sotto al telaio della vettura, direttamente sull'asse delle ruote, oppure unito a questo mediante un ingranaggio. Al fine di avere una certa sicurezza che i motori funzionino bene, senza facilmente guastarsi, ed essendo situati in modo che ne è difficile la sorveglianza, si usano potenziali poco elevati; in media di 600 volts.

Vi è un apparecchio di manovra mediante il quale il *wattman* regola il motore a differenti velocità, ne inverte la marcia e regola l'avviamento. Allorchè si mette in marcia il motore, se non vi fossero speciali provvedimenti, esso svilupperebbe uno sforzo potentissimo, tale da disturbare molto i viaggiatori, e noi abbiamo potuto osservare, quantunque i provvedimenti meccanici sieno presi, come l'inabilità o la malavoglia di un *wattman* ci procuri delle scosse di partenza tutt'altro che gradevoli.

Tramways ad accumulatori. — Risentono dei difetti inerenti agli accumulatori e specialmente del loro peso. Pure ammettendo di poter ottenere dagli accumulatori una corrente di circa 2 ampères per Kg. di piombo (ed abbiamo visto come convenga ri-

chiedere solo $^1/_2$ ampère per Kg.) ecco i pesi che dovrebbe avere una batteria d'accumulatori per trascinare alla velocità di Km. 10,8 all'ora un peso di 1000 Kg. lungo una linea alle varie pendenze:

Pendenza delle linee	Peso delle batterie in Kg.
0	136
1 %	282
2 %	474
4 %	1087

Mentre il peso della batteria è relativamente piccolo quando la linea è orizzontale, si vede come alla pendenza del 4 % la batteria non giungerebbe a trascinare se stessa. Un sistema ad accumulatori non potrebbe essere quindi utile, forse, che per linee assolutamente orizzontali, o quasi, per risparmiare le spese di una conduttura elettrica.

In generale però questo sistema non ha fatto buona prova e le Società d'esercizio di tramways ad accumulatori si assoggettano anche a gravi sacrifici pecuniari pure di poter cambiare sistema. Nelle linee ad accumulatori, ai capi delle linee giunge la corrente elettrica continua; allorchè il tramway si arresta, fra una corsa e l'altra, gli accumulatori vengono riuniti a tale conduttura per essere riforniti di energia. Oltre tutto gli accumulatori sviluppano gas nocivi pei quali è necessario provvedere sfoghi opportuni e che possono dar noia ai viaggiatori.

Tramways a conduttura. — In questi l'energia elettrica è trasportata lungo la linea da una conduttura ed arriva al motore per mezzo di contatti mobili.

Conduttura aerea. — Nei tramways a conduttura aerea un polo del motore è collegato mediante un contatto scorrevole, detto *trolley*, al filo aereo chiamato filo di servizio, e l'altro polo, mediante le ruote, alle rotaie. Il filo aereo costituisce il conduttore per l'andata della corrente, mentre le rotaie servono al ritorno della corrente.

Perciò i due poli P e P' (Tav. VIII, fig. 72) della dinam sono riuniti, l'uno al filo di servizio AB, e l'altro alle rotaie Affinchè le rotaie costituiscano un conduttore continuo è n sario, nei giunti, riunirle elettricamente con dei tratti di duttura di rame.

Il trolley può essere costituito in modi differenti; può es a rotella scorrevole sul filo di servizio o ad arco strisci sulla linea stessa. Il sistema a rotella guasta meno il fil servizio, ma esige una conduttura ben fatta, altrimenti grande facilità la rotella del trolley deraglia.

Il sistema ad arco logora di più la linea, ma questa può sere meno accurata nelle curve e più difficilmente il cont viene perduto. Esistono anche trolley automotori costituiti un piccolo carrello, mosso da un motorino elettrico, che c per conto suo sul filo di servizio ad una velocità uguale a q della vettura e collegato a questa mediante un cavo meta flessibile che porta l'energia alla vettura.

Quest'ultimo trolley automotore viene usato più specialm per gli omnibus a trazione elettrica e cioè per vetture s rotaie. Allora si comprende che occorreranno due fili di serv uno per l'andata e l'altro pel ritorno della corrente. La fl bilità del trolley permette a questi omnibus l'incrocio fr loro e con altre vetture, e di tali omnibus ne abbiamo a in Italia qualche applicazione.

Conduttura sotterranea. — Il filo di servizio corre in un nale sotterraneo, l'altro filo è sempre costituito dalle rotai

In questo sistema ciò che è difficile è mantenere il cont del trolley il quale deve andare a cercare sotterra il fil servizio. Si distinguono due tipi, a conduttore continuo e conduttore interrotto.

Nel tipo a conduttore continuo la vettura è provvista d trolley inferiore che arriva a mettersi in contatto col fil servizio. Perchè ciò si possa effettuare è necessario che il nale che contiene il filo di servizio sia aperto e presenti fenditura continua nella quale possa passare il trolley. Si prende come il sistema non sia pratico, specie per i tramw i quali percorrono appunto strade ordinarie, e come nel canal

possano facilmente penetrare detriti d'ogni natura, oltre alla pioggia, la neve, il fango, ecc.

Nel tipo a conduttura interrotta il canale che contiene il filo di servizio è completamente chiuso, sporgono solo fra le rotaie dei blocchi metallici, detti *plots*, i quali servono a stabilire il contatto col filo di servizio. La vettura possiede inferiormente un pattino, che scorre sui plots, di una lunghezza sufficiente perchè non possa abbandonare un plot prima di aver toccato l'altro; il pattino porta la corrente al motore, corrente che effettua il suo ritorno al solito per le rotaie. (Vedi Tav. IX, fig. 73, *AB* filo di servizio, *P* plots, *T* pattino della vettura). Si comprende però che i plots non debbano essere sempre in comunicazione col filo di servizio, perchè in questo caso essi si troverebbero ad un alto potenziale e si correrebbe il rischio di essere fulminati posandovi sopra il piede. È necessario quindi che il contatto fra i plots ed il filo avvenga solo per quei plots sui quali passa il pattino della vettura e che il contatto cessi non appena la vettura è passata.

Per ottenere questo scopo, vennero ideati diversi apparecchi i quali vi soddisfano più o meno bene. Accennerò solo ad un sistema che pare funzioni abbastanza bene su di una linea tramviaria a Parigi.

Il plot (Tav. IX, fig. 74) è costituito da un blocco di ferro dolce *P*, sotto il quale vi è una vaschetta piena di mercurio che è in comunicazione col filo di servizio *AB*; nel mercurio galleggia una specie di chiodo di ferro *C*.

Normalmente non vi è nessun contatto fra il chiodo *C* ed il plot *P*. Il pattino *T* della vettura è magnetizzato, allorchè passa su di un plot qualunque lo magnetizza, il chiodo viene attirato dal plot e si stabilisce il contatto elettrico.

Appena passata la slitta, il plot si smagnetizza ed il chiodo ricade nel mercurio interrompendo il circuito. Questo sistema è molto semplice ed abbastanza sicuro, non avendo organi capaci di guastarsi e di non funzionare col tempo: ciò non ostante è sempre prudenza non posare i piedi sui plots.

Frenamento delle vetture tramviarie. — Essendo una vettura lanciata a grande velocità se noi togliamo la corrente, il motore

seguitando a girare funziona da dinamo, se noi riuniamo i po del motore su di una piccola resistenza obbligheremo questa d namo a produrre un grande lavoro e perciò trasformeremo r pidamente la forza viva della vettura in lavoro elettrico. Quest è un freno elettrico, ma bisogna ricordare che esso è tanto pi potente quanto più la velocità è grande, e cioè che la su azione diminuisce al diminuire della velocità, perciò sono sempr necessari freni meccanici nelle vetture elettriche. Altri fre elettrici furono ideati, ma sempre sul principio ora enunciato.

Alimentatori. — Allorchè le linee tramviarie sono piuttost lunghe non conviene unire direttamente il filo di servizio all dinamo, perchè si perderebbe troppa energia lungo il filo stess il quale, oltre all'essere molto lungo, non si può fare di ram puro, che presenterebbe troppo poca resistenza alla rottura, m si fa di bronzo presentante una resistenza elettrica superiore rame. Si ricorre allora al sistema degli alimentatori.

Lungo la linea (Tav. IX, fig. 75), ed in genere sotterraneo, dispone un filo di rame puro *BC* a sezione piuttosto grossa. filo di servizio si divide in tanti tratti *T* ed ogni tratto vien riunito al filo *BC* mediante un alimentatore *A*. In questo mod in qualunque punto della linea si trovi la vettura *V*, la co rente non è costretta a percorrere che un breve tratto del fil servizio.

Trazione elettrica ferroviaria. — È un problema che riveste specialmente per noi italiani, una grandissima importanza, giacchè mentre siamo poverissimi di carbone minerale, possediamo un grande ricchezza in carbone bianco, come attualmente suole chia marsi la energia idraulica.

La macchina a vapore è certamente giunta ad una grand perfezione, ma, nelle locomotive, ha pur sempre un rendiment molto piccolo, e cioè trasforma in energia meccanica una b piccola parte dell'energia contenuta nel carbone. La locomoti ferroviaria raggiunge bensì velocità ragguardevoli, ma attu mente la vita è diventata così mossa e così agitata, che quasi non ci accontentiamo della velocità che essa può da La locomotiva produce un movimento rotatorio trasformando

questo un movimento alternativo (1), per cui la coppia motrice varia ad ogni istante passando per dei massimi e dei minimi; quindi in realtà la locomotiva non rotola sulle rotaie, ma procede con un movimento simile al galoppo, movimento che si ripercuote specialmente sulle ultime vetture dei treni, nelle quali si risente quell'incomodo sobbalzare dall'una all'altra rotaia. Questo fenomeno ostacola una grande velocità, per ottenere la quale occorre inoltre rendere molto grandi i diametri delle ruote motrici. La locomotiva ferroviaria deve essere alimentata da combustibile di ottima qualità, emette fumo, causa di deterioramento del materiale e di diminuzione della prestazione delle linee con tunnels, richiede acqua distribuita lungo la linea pel rifornimento.

La locomotiva elettrica può raggiungere la velocità che noi desideriamo anche con ruote motrici piccole (e cioè con centro di gravità basso), il movimento è perfettamente rotatorio, non vi è produzione di fumo, non bisogno d'acqua. Anche quando l'energia elettrica debba essere fornita da macchine a vapore, queste ultime, essendo fisse, possono essere a duplice, triplice ed anche quadruplice espansione, ed adoperare combustibile di qualità scadente.

Lo sforzo che può esercitare una locomotiva deriva in special modo dalla sua aderenza e cioè dal proprio peso, quindi le locomotive più sono potenti più sono pesanti, diminuisce perciò il rendimento in carico utile trasportato. Colla trazione elettrica si possono rendere motrici tutte le vetture, usufruire perciò del peso aderente di tutto il carico ed in conseguenza superare pendenze più sensibili.

Il motore elettrico esige minor sorveglianza di una macchina a vapore e perciò il wattman avrà più agio di sorvegliare la linea che non il macchinista.

Economicamente parlando non sembra sia conveniente la trasformazione in elettrica per quelle linee per le quali transitano

(1) Attualmente stanno prendendo piede le così dette *turbine a vapore*, nelle quali la forza espansiva del vapore viene trasformata direttamente in moto rotatorio; non pare però che fino ad ora si sia applicato questo sistema a locomotive ferroviarie.

solo pochi treni molto pesanti ed a piccola velocità (si intende quando l'energia debba prodursi con macchine a vapore). La trazione elettrica è invece conveniente allorchè trattisi di linee con grande frequenza di treni a grandi velocità, anche quando questi treni siano formati da una o da poche vetture. Si comprende dunque come la trazione elettrica risulti ad essere vantaggiosa specialmente per i viaggiatori. Per l'Italia il problema acquista appunto una grande importanza dal lato economico visto che possediamo tanto carbone bianco da fornire, esuberantemente, non solo tutte le nostre industrie, ma pur anco tutte le nostre ferrovie.

Data la convenienza è necessario studiare quale sia il sistema migliore da adottare.

Sistema ad accumulatori. — Ha fatto cattiva prova sulla linea Milano-Monza e fu abbandonato.

L'inconveniente consiste nel peso enorme delle vetture in causa delle batterie di accumulatori; in esperimenti fatti nel Belgio, vetture per 78 persone pesavano 49 T., raggiungendo la velocità di 30 Km.

Un sistema ad accumulatori potrà fare una prova discreta solo su brevi linee, quasi assolutamente piane, a velocità limitate e ad esercizio economico, giacchè questo sistema risparmia le spese della conduttura.

Sistemi a conduttura. — Possono essere a corrente continua od a corrente alternata.

Trazione elettrica ferroviaria a corrente continua. — S'intende che nei sistemi a corrente continua questa percorrerà solo il filo di servizio, mentre l'energia sarà trasportata mediante corrente trifase e convertita in continua in speciali stazioni di conversione. La fig. 76, Tav. IX rappresenta uno schema della trasmissione elettrica per linee ferroviarie a corrente continua. AB è la linea ferroviaria (i binari), CD, $C'D'$, $C''D''$ sono tratti del filo di servizio, ogni tratto del filo di servizio è rispettivamente servito da una stazione di conversione S, S', S''; O è l'officina di produzione e GH la conduttura per il trasporto

dell'energia elettrica. L'energia elettrica prodotta dall'officina *O* percorre sotto la forma di corrente trifase ad alto potenziale (15.000-30.000 volts) la conduttura *GH*. In ognuna delle stazioni di conversione *S*, *S'*, *S''* giunge la corrente trifase ad alto potenziale, viene trasformata, con un trasformatore statico, ad un potenziale inferiore: così ridotta la si impiega per mettere in movimento un motore trifase a campo rotante, il quale a sua volta aziona una dinamo che produce la corrente continua per il filo di servizio. In questo modo la linea ferroviaria viene ad essere divisa in tante sezioni di piccola lunghezza, sulle quali si può usare la corrente continua. Vediamo però che ognuna di queste stazioni di conversione è una vera officina elettrica di distribuzione, richiedente un certo personale, e che l'energia prima di venire impiegata sulla linea subisce svariate successive trasformazioni nelle quali molta parte di essa va dispersa. Però la corrente continua permette l'impiego dei motori in serie a corrente continua, motori che noi sappiamo essere i preferibili nel caso di trazione.

La conduttura può essere aerea ed allora è simile a quella dei tramways, oppure, come dicesi, a *terza rotaia*. La terza rotaia non è che una rotaia costituente il conduttore di andata della corrente e disposta fra le due rotaie, che costituiscono il binario, od accanto e parallelamente ad esse. La locomotiva porta un pattino, od una spazzola metallica, che striscia sulla terza rotaia e la mette in comunicazione col motore, mentre il binario costituisce il conduttore di ritorno della corrente.

La terza rotaia esige una linea assolutamente in sede propria senza passaggi a livello ed è difficilmente isolabile dalla terra. Essa è tuttavia sempre pericolosa, anche per il personale della linea, ed è facilissimo stabilire un corto circuito, anche doloso; basta infatti disporre una sbarra di ferro attraverso al binario in modo che tocchi una rotaia del binario e la terza rotaia. Da noi se ne è fatto un grandioso esperimento dalla Società Mediterranea sulla linea Milano-Varese e pare dia buoni risultati. Sono pure a terza rotaia il Métropolitain di Parigi ed alcuni altri impianti in Inghilterra. Sembra però che il sistema a terza rotaia debba cedere, a meno di casi eccezionali, il posto a quello a conduttura aerea.

Trazione elettrica ferroviaria a corrente alternata trifase. — Si vide che i motori a campo rotante, mediante opportuni e semplici provvedimenti, si avviano anche sotto forti carichi e possono variare la loro velocità entro certi limiti. Essi dunque si prestano alla trazione in modo abbastanza soddisfacente. Siccome poi detti motori presentano organi molto meno delicati di quelli a corrente continua, essi possono funzionare sotto potenziali più elevati. I poli del motore sono tre, due di essi si uniscono mediante trolleys a due fili aerei, il terzo filo è costituito dalle rotaie (Tav. IX, fig. 77). Anche qui però i fili di servizio non saranno gli stessi che servono al trasporto dell'energia, perchè non è conveniente far funzionare i motori sotto potenziali elevatissimi. La fig. 78, Tav. IX, rappresenta uno schema di conduttura per trazione elettrica trifase. *AB* è il binario, *CD*, *C'D'*, *C''D''* sono tratti delle copie dei fili di servizio, *O* l'officina di produzione, *GH* la conduttura pel trasporto dell'energia ed *S*, *S'*, *S''* sono stazioni di trasformazione. L'energia partendo da *O* dove si produce, percorre la conduttura *GH* (tre fili) ad alto potenziale (15.000-30.000 volts), le stazioni *S*, *S'*, *S''* trasformano l'energia trifase ad alto potenziale, mediante un trasformatore statico, in una energia trifase a potenziale meno elevato (1000-3000 volts) che serve ad alimentare la linea di servizio. Il sistema è simile a quello per la trazione a corrente continua, ma bisogna notare che, nel caso che consideriamo ora, le stazioni *S* non contengono che un trasformatore statico e cioè una macchina che non ha bisogno di nessuna sorveglianza e quindi il sistema trifase riesce più semplice. Riescono invece più complesse le locomotive, e queste sono di un rendimento inferiore a quelle a corrente continua, per cui forse, alla fine dei conti, l'energia che veramente si utilizza riesce ben poco differente nei due sistemi.

Abbiamo in Italia, in servizio, il più grandioso esperimento di trazione trifase che si sia mai fatto, sulle linee Colico-Chiavenna, Colico-Sondrio, Colico-Lecco, dello sviluppo complessivo di 107 chilometri (Tav. IX, fig. 79). L'officina generatrice è stabilita presso Morbegno ed ha una potenza minima di 4000 cavalli-vapore.

La forza motrice è idraulica, e si ottiene da una dirama-

zione dell'Adda che giunge all'officina di Morbegno mediante un canale lungo 4500 m., completamente scavato in tunnel nella roccia. Il salto utile è di 30 metri sulle turbine e della portata da 10 a 16 metri cubi. Le turbine sono quattro ed azionano ognuna un alternatore di circa 2000 cavalli-vapore: per il lavoro normale sono sufficienti due alternatori, per cui gli altri due sono di riserva.

Le due condutture, quella pel trasporto dell'energia a 15.000 volts e quella di servizio a 3.000 volts, si svolgono su di una sola palificazione.

La riduzione del potenziale da 15.000 volts a 3.000 viene eseguita in 10 stazioni di trasformazione.

La sorveglianza del movimento sulla linea è quasi completamente automatica e tutte le disposizioni sono prese affinchè la caduta di uno dei fili su di una vettura non arrechi danni al personale ed ai viaggiatori. Il servizio dei treni è organizzato col concetto di separare completamente il servizio delle merci da quello dei viaggiatori, rendendo l'unità più leggera che sia possibile e facendo fronte alle esigenze improvvise del traffico coll'aumentare la frequenza dei treni anzichè il loro peso.

Quale dei due sistemi di trazione elettrica ferroviaria sia da preferirsi non si può certamente dire *a priori*, appunto per ciò vengono da noi esperimentati grandiosamente i due sistemi che si contendono la palma, e sarà necessario attendere che il tempo e l'esperienza ne diano il responso. D'altra parte la trasformazione della trazione ferroviaria è un problema così grandioso che non si può prendere una risoluzione a cuor leggero, tanto più che basterebbe un nuovo perfezionamento per sconvolgere tutta una organizzazione già adottata. Si dice, p. es., che si siano fatti studi per rendere atto alla trazione il motore a corrente alternata monofase (che, come è attualmente, non può lavorare che ad una sola velocità fissa e non si incammina da sè) e che esperienze eseguite abbiano dato risultati soddisfacenti. Questo solo fatto varrebbe a portare in lizza un nuovo sistema di trazione, monofase, che potrebbe presentare maggiori vantaggi degli altri due.

Il problema della trazione elettrica per le ferrovie ha poi una importanza militare che non si deve trascurare. Questa impor-

tanza deriva da due considerazioni, la prima delle quali de' portarci a studiare se le ferrovie elettriche conservino anco militarmente la loro importanza e nel caso come esse dovre bero essere impiegate in tempo di guerra, la seconda deve pc tarci a studiare il modo di difenderle dagli attacchi nemici. l ferrovie elettriche non faranno che aumentare il traffico e perc si può pensare che esse non perdano del loro valore come mez militare, bisognerà però studiare il modo di bene servirsene e comprende che i piccoli treni a grandi velocità non sono fatti p trasporto delle grandi unità di guerra. Vi possono anche esse linee che pel traffico hanno poca importanza, mentre ne han molta militarmente considerate. Attualmente basta fare più tre del solito su queste linee e perciò sono sufficenti depositi carbone. Colle linee elettriche avremo impianti proporzionali traffico di pace ed insufficenti in caso di guerra, e sarà u insufficenza non facile a riparare da un giorno all'altro.

Occorrerà pensare alla loro protezione, come dissi più al perchè al nemico basterà distruggere una officina generatri per inutilizzare tutta la linea da questa servita. Sarebbe per utile che le officine generatrici si trovassero verso l'estrei interno della linea, mentre è appunto verso l'esterno, verso cerchia delle Alpi, che si trovano le energie idrauliche r cessarie.

Da questi brevi accenni scorgesi quanto il problema del trazione elettrica ferroviaria interessi non solo l'economia r anche la difesa dello Stato.

VII.

Calore e luce.

Calore. — Abbiamo visto che in ogni conduttore, in cui passi una corrente elettrica, avviene che una parte dell'energia elettrica si trasforma in calore. Noi sappiamo anzi che in un conduttore di resistenza r in cui passi una corrente i l'energia elettrica che si trasforma in calore è precisamente uguale al prodotto della resistenza r per il quadrato della corrente i ed è cioè: ri^2.

Su questo concetto sono basati tutti gli apparecchi termoelettrici comuni, stufe, ecc., ecc.

Vediamo come si possa anche regolare il calore di una stufa elettrica.

Sia AB (Tav. X, fig. 80) il conduttore costituente la stufa e sia la sua resistenza R: se noi applichiamo fra A e B una differenza di potenziale, per es., di 120 volts, avremo una corrente uguale a $\frac{120}{R}$ e perciò trasformeremo in calore una energia

$$R\left(\frac{120}{R}\right)^2 = \frac{120^2}{R}.$$

Se invece di applicare la differenza di potenziale fra A e B la applichiamo fra A e B', e supponiamo $AB' = {}^1/_2\, AB$, avremo che la resistenza sarà $\frac{R}{2}$, la corrente $\frac{120}{\frac{R}{2}} = \frac{2 \times 120}{R}$ per cui l'e-

nergia trasformata in calore sarà:

$$\frac{R}{2}\left(\frac{2 \times 120}{R}\right)^2 = 2\,\frac{120^2}{R}$$

doppia della prima. E perciò più noi avvicineremo il punto *B* al punto *A* e più calore otterremo dalla stufa.

Vedremo parlando della luce ad arco, su quale principio siano basati i forni elettrici.

Luce elettrica. — Abbiamo due sistemi generalmente in uso: ad incandescenza e ad arco.

Luce elettrica ad incandescenza. — Dicemmo più sopra che applicando agli estremi di una resistenza una differenza di potenziale, una certa quantità d'energia viene trasformata in calore. La resistenza viene riscaldata e può arroventarsi e fondersi. Se come resistenza impieghiamo un filamento di carbone, e manteniamo questo carbone nel vuoto perchè non possa bruciare, noi avremo che il carbone diventerà prima rovente poi incandescente ed emetterà calore e luce; noi avremo infine una lampadina elettrica ad incandescenza. Ogni lampadina porta impresso un numero indicante la tensione alla quale deve essere sottoposta per funzionare bene. Queste lampadine funzionano tanto colla corrente continua quanto coll'alternata. Le lampadine elettriche hanno anch'esse una certa durata di esistenza. Per quanto il carbone si trovi nel vuoto barometrico, per quanto si cerchi di conservare questo vuoto, pure le alternative di caldo e di freddo alle quali una lampadina è sottoposta, fanno sì che una certa quantità d'aria penetri nel globo pei punti in cui i reofori di platino sono saldati al vetro. Il filamento di carbone quindi brucia lentamente ed annerisce l'interno dell'ampolla di vetro, il filamento diventa più sottile e presenta una maggior resistenza elettrica, per cui la corrente che vi passa risulta inferiore alla normale e molto meno è la luce fornita. La durata media di una buona lampadina varia fra 500 e 1000 ore di incandescenza e non è economia razionale il non cambiarle dopo questo tempo.

Luce elettrica ad arco. — Se facciamo passare per due carboni a contatto C e C' (Tav. X, fig. 81) una corrente elettrica conveniente e poi distacchiamo i carboni, producendo fra essi un breve intervallo (Tav. X, fig. 82), la corrente seguita a passare e si forma fra le due punte dei carboni un arco incandescente e luminoso. Quest'arco chiamasi *arco voltaico* e si dispone sempre nella direzione del meridiano magnetico come una calamita. Sembra che esso sia costituito da minutissime particelle di carbone incandescente che vanno dall'uno all'altro carbone.

L'arco si rompe e la corrente non passa più allorchè si seguitino ad allontanare i carboni.

Mentre l'arco perdura anche le due punte dei carboni rimangono incandescenti e da queste due punte e dall'arco emana la luce che si utilizza nelle lampade di questo nome.

Le lampade ad arco funzionano tanto colla corrente continua quanto colla corrente alternata, colla sola differenza che, impiegando la corrente continua, un carbone (il positivo) si consuma più dell'altro. La luce prodotta dall'arco voltaico ci fa l'impressione di esser ricca di raggi azzurri e violetti, invece è deficente appunto di questi raggi; noi la vediamo così perchè siamo abituati ad illuminazioni cariche di luci rosse e gialle.

Perchè una lampada ad arco si accenda è necessario che i carboni siano da prima a contatto e poi vengano allontanati di una certa quantità. Ora ciò si fa automaticamente. Dei due carboni (Tav. X, fig. 83) l'inferiore C' è fisso, quello superiore è mobile e sostenuto da un contrappeso di ferro P e da un filo flessibile che passa nella carrucola C. La corrente arriva per esempio da B al carbone C, da questo al carbone C' ed attraversa quindi un solenoide S. Questo solenoide allorchè passa la corrente (che in questo caso deve essere continua), funziona da calamita ed attrae il contrappeso P, il carbone C viene sollevato e si forma l'arco. Le cose sono regolate in modo che l'arco si mantiene della voluta grandezza. Allorchè si toglie la corrente il carbone ridiscende a contatto del carbone C', non essendo più il contrappeso attratto dal solenoide.

S'intende che questo dispositivo è sommariamente schematico e che la montatura delle lampade ad arco è molto più complessa.

Nei forni elettrici è utilizzato il calore che fornisce l'arco

VI.

La trazione elettrica.

VII.

Calore e luce.

VIII.

Cenno sulla teoria delle perturbazioni elettromagnetiche

abbrucia bene e completamente non può dare luce ma solamente calore.

Le reticelle Auer sono costituite da ossidi di metalli così detti rari; essendo ossidi non possono bruciare e si possono riscaldare fin che si vuole. Si tenta ora di elevare ancora la temperatura alla quale si possono portare queste reticelle aumentando la pressione del gas e dell' aria perchè il riscaldamento sia più intenso.

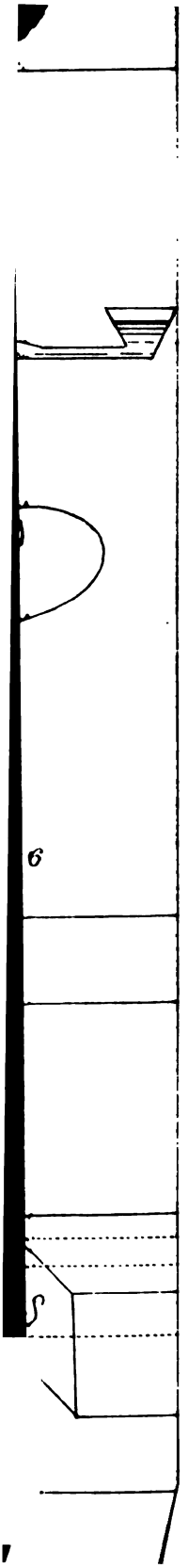
Si sono tentate lampadine ad incandescenza con filamenti costituiti appunto di ossidi dei metalli rari. Tali lampadine non avrebbero bisogno di globo, inquantochè non possono bruciare. Però il loro difetto sta in questo che i filamenti così costituiti presentano, a freddo, una resistenza enorme e la corrente non può passare. Se si riscaldano la resistenza diminuisce, la corrente passa e la lampadina si mantiene accesa. Sono quindi lampadine che dovrebbero essere accese con un fiammifero come una candela. Siccome effettivamente sono più economiche delle lampadine attuali, si studiano sistemi atti ad evitare questa accensione, che, ora, abituati ad accendere di un colpo migliaia di lampadine, ci sembra antiquata.

Azioni elettrochimiche. — Per queste azioni occorrono sempre correnti continue ed a basso potenziale, e nelle industrie che su esse si basano si fa spesso uso di accumulatori.

Contatori d'energia elettrica. — L'energia elettrica che le officine distribuiscono agli utenti viene fatta pagare in ragione della quantità.

Vi sono diversi sistemi e l'energia elettrica viene concessa a *forfait*, a tempo od a contatore.

Allorchè la distribuzione è a *forfait* si paga un tanto all'anno od un tanto al mese e però non se ne ha disponibile che una certa quantità fissa. Così per esempio si possono ottenere 1, 2, ecc. Kw. annui, oppure 1, 2, ecc. lampadine annue o mensili pagando una quota fissa all'anno od al mese. Allora si può far lavorare i Kw. o tener accese le lampadine pel tempo che si vuole. La Società che distribuisce l'energia si premunisce contro le possibili frodi degli utenti mediante un apparecchio che limita l'intensità di corrente.


6
5

allorchè detta propagazione la si paragoni a quella del calore raggiante o della luce.

La velocità di propagazione dipende dal mezzo che le forze elettriche e magnetiche attraversano, nell'aria e nell'etere: questa velocità è di 300.000 chilometri al 1″, pari a quella della luce.

Attraverso ad un conduttore perfetto (noi sappiamo che in genere i metalli sono conduttori, ma che non ve ne è nessuno perfetto, perchè tutti presentano una certa resistenza) le onde elettriche non possono trasmettersi: un conduttore perfetto sarebbe dunque perfettamente opaco alle onde elettriche.

Al contrario un isolante perfetto sarebbe completamente trasparente alle onde elettriche, che potrebbero attraversarlo senza perdere nessuna parte della propria energia.

Ipotesi di Maxwell sulla natura della luce. — La teoria di Maxwell spiega la propagazione dei fenomeni elettro-magnetici mediante un'azione che si trasmette attraverso ad un mezzo che riempie tutto lo spazio; la teoria ondulatoria della luce suppone pure l'esistenza di un tale mezzo. Di più la teoria di Maxwell prova che, nello stesso mezzo, la propagazione delle onde elettromagnetiche si fa colla legge identica della propagazione delle onde luminose. È quindi naturale ammettere, col Maxwell, che le oscillazioni elettromagnetiche e le luminose si trasmettono in uno stesso mezzo, l'etere, e che di più la luce sia essa stessa un fenomeno elettromagnetico; ammettere cioè che le vibrazioni che costituiscono la luce non siano altro che vibrazioni elettromagnetiche.

Una delle prime conferme a questa teoria è quella data dalla uguaglianza della velocità di trasmissione della luce e delle onde elettromagnetiche. Abbiamo visto che un corpo conduttore è opaco alle onde elettromagnetiche: dovrebbe anche essere opaco alla luce. Ciò in generale è, solo in pochi casi non si verifica, ma ciò non infirma la teoria di Maxwell, giacchè la trasparenza di un corpo dipende dalla lunghezza delle onde luminose: tanto è vero che vi sono corpi che lasciano passare certe luci ed altri no, per esempio i vetri colorati.

Come i corpi conduttori sono opachi alla luce ed alle onde elettromagnetiche, così i corpi non conduttori, che vengono chia-

mati dielettrici, sono trasparenti alle onde luminose ed alle onde elettromagnetiche, cioè si lasciano attraversare da esse (meno alcune eccezioni, per le quali si può ripetere quanto si disse più sopra).

Esperienze di Hertz. — Queste accennate furono le prime conferme della teoria di Maxwell il quale non si curò di provarla sperimentalmente. Tale teoria però ebbe piena conferma sperimentale per opera di Enrico Hertz, il quale, fino dal 1887, convinto dell'esattezza matematica delle conclusioni del Maxwell, si dette lo scopo di provarle sperimentalmente. Il problema che l'Hertz si proponeva era tutt'altro che semplice; occorreva prima di tutto produrre in modo continuato delle oscillazioni elettriche; la frequenza di queste oscillazioni doveva essere grandissima per ottenere onde di lunghezza limitata. La velocità della trasmissione essendo di 300.000 chilometri al minuto secondo, per avere delle onde di un metro di lunghezza occorreva avere trecento milioni di vibrazioni al minuto secondo. Occorreva poi trovare il mezzo di riconoscere queste vibrazioni, a distanza, nell'aria. Hertz risolse questi due problemi, ed accennerò ai metodi da Lui adottati, perchè essi si riattaccano alla teoria del telegrafo senza fili.

Se si prendono due sferette metalliche *A* e *B* (Tav. X, fig. 84), si caricano ad una differenza di potenziale e si pongono le sferette stesse ad una certa distanza l'una dall'altra, avviene che fra le due sferette scocca la scintilla elettrica. Questo fenomeno non è però così semplice come si crede, quantunque duri un tempo brevissimo, ossia non avviene una semplice scarica istantanea in una sola direzione, ma avviene una scarica oscillante come se l'elettricità rimbalzasse dall'una all'altra sferetta. Queste oscillazioni sono rapidissime e si spengono in un tempo brevissimo. La rapidità delle oscillazioni la si può variare variando le sferette ed aggiungendovi delle appendici, e non solo si può variare, ma la teoria insegna a calcolare la frequenza che si può ottenere da un dato sistema di sferette che chiamasi *condensatore*. Abbiamo però visto che le oscillazioni della scarica durano un tempo brevissimo e poi si spengono; è necessario dunque, se si vuole ottenere una continuità dell'oscillazione, di ricaricare il conden-

satore non appena questo si è scaricato. Ciò si ottiene riunendo le sferette *a* e *b* (Tav. X, fig. 85) al secondario di un rocchetto di Ruhmkorff, che, come noi sappiamo, produce delle alte differenze di potenziale alternativo.

Questo apparecchio è appunto l'*eccitatore* di Hertz.

Si può comprendere come si producano le oscillazioni nell'eccitatore di Hertz ricorrendo al paragone di analoghi fenomeni delle vibrazioni sonore; si può, per esempio, ottenere da una corda di violino l'impressione di un suono continuo mediante una rapida successione di colpi d'archetto, tali che l'uno succeda all'altro mentre ancora perdurano le vibrazioni sonore da questo prodotte.

Nel caso dell'eccitatore le correnti del rocchetto che producono le successive scariche nel condensatore, corrispondono ai colpi d'archetto che producono i successivi impulsi nella corda vibrante, e, nello stesso modo che il numero delle vibrazioni del suono è quello delle vibrazioni delle corde e non quello dei colpi d'archetto, così il numero delle oscillazioni della scarica dipende solo dal condensatore e non dalla corrente del rocchetto. Così come una successione di colpi abbastanza rapidi dà una impressione di suono continuo, nello stesso modo si avranno vibrazioni elettriche continue se sarà abbastanza grande la frequenza delle correnti del rocchetto.

Con tali eccitatori l'Hertz potè ottenere da principio lunghezze d'onda di tre o quattro metri, ma perfezionandoli ancora ottenne minori lunghezze d'onda, anche di soli 30 cm., che corrispondono ad 1.000.000.000 di vibrazioni al minuto secondo. Si noti che le oscillazioni hertziane hanno una frequenza di gran lunga inferiore alla frequenza della luce, giacchè la frequenza della luce verde, che si può ritenere come frequenza media dello spettro luminoso, vale in numero tondo 600.000 miliardi e cioè circa un milione di volte maggiore di quella delle oscillazioni hertziane.

Prodotte le oscillazioni elettriche, occorreva trovare un apparecchio atto a rinvenirle a distanza ed Hertz trovò il così detto *risuonatore* elettrico.

Tale apparecchio, nella sua forma primitiva, non è che una sbarretta metallica foggiata a cerchio e portante alle sue estremità due sferette pure metalliche *a* e *b* (Tav. X, fig. 86). Portando

questo apparecchio nella direzione in cui si propagano le onde elettriche, se le sue dimensioni sono convenienti, se il numero delle oscillazioni elettriche prodotte è pure conveniente, avviene che fra le due sferette scoccano delle piccole scintille elettriche visibili nell'oscurità. Il comportamento del *risuonatore elettrico*, chè così è chiamato questo apparecchio, è perfettamente analogo a quello dei risuonatori acustici e, per dirlo poeticamente, a quello delle famose arpe Eolie che risuonano sotto la carezza dei venti.

Se si ha una corda capace di dare un suono fondamentale, di determinata altezza e frequenza, e se nell'aria si propaga un suono, anche debole, purchè all'unisono con quello di cui è capace la corda, le successive vibrazioni nella corda si sommano sino a riprodurre in modo sensibile il debole suono che si propagava nell'aria.

L'Hertz sperimentando col suo eccitatore e col suo risuonatore verificò e confermò la teoria del Maxwell. Trovò che realmente queste onde elettromagnetiche si propagano a distanza, in linea retta, che attraversano i corpi non conduttori, come la luce i corpi trasparenti, che effettivamente le vibrazioni elettromagnetiche si propagano per ondulazioni e che la velocità delle propagazioni è uguale a quella della luce, e perciò diede alle oscillazioni elettrice il nome di *raggi di forza elettrica*.

I corpi conduttori non lasciano passare i raggi di forza elettrica che sono da essi riflessi colle stesse leggi della riflessione della luce; mediante specchi cilindrici a direttrice parabolica costituiti da lamine di zinco potè rendere paralleli raggi di forza elettrica, dimostrò che nei corpi non conduttori e cioè attraversati dai raggi di forza elettrica avvengono gli stessi fenomeni di rifrazione e polarizzazione che avvengono nei corpi trasparenti alla luce, ecc.

Le radiazioni elettromagnetiche e le radiazioni luminose s propagano entrambe in un mezzo che riempie tutto lo spazio le leggi che regolano queste propagazioni sono perfettamen t identiche. È quindi naturale ammettere, non solo che sia stesso il mezzo in cui le due classi di vibrazioni si propaga ma ancora che non vi sia differenza sostanziale fra queste osc i lazioni. Luce e radiazioni elettriche debbono ritenersi un fen

meno unico, la differenza sta solo nella diversa ampiezza delle oscillazioni; è in grazia di questa differenza che sono diversi gli effetti e le apparenze dei due fenomeni, ed occorrono quindi mezzi diversi per osservarli e studiarli, benchè fisicamente siano fenomeni identici.

Abbiamo visto che la teoria del Maxwell e le esperienze dell'Hertz hanno dimostrato che l'energia elettrica si trasmette attraverso i corpi non conduttori e che quelli conduttori sono addirittura opachi al passaggio dell'energia elettrica; tutto ciò appare in pieno contrasto a quanto abbiamo veduto nelle applicazioni elettriche comuni. In queste chiamavamo appunto conduttori quei corpi che erano capaci di trasportare l'energia elettrica. La contraddizione non esiste, noi abbiamo sempre detto che il conduttore serve a trasportare l'energia elettrica, la corrente, ma questo era più che altro un modo di esprimersi circa un fenomeno del quale non ci rendevamo ben conto. Abbiamo sempre parlato di corrente elettrica come di qualche cosa che passasse nei conduttori, ma non abbiamo mai potuto sapere che fosse questo qualche cosa.

" Il metallo del filo non è il materiale attivo del meccanismo " trasmettente; è invece il materiale passivo, che nel funziona- " mento di tale meccanismo interviene colla sua cedevolezza. " In mezzo al dielettrico circostante, che è il corpo ove le forze " hanno sede e si trasmettono, il filo non fa altro che stabilire " una linea di debolezza, la quale fa sì che la propagazione " dell'energia avvenga in una direzione determinata; il filo non " è la sede del fenomeno principale, ma semplicemente deter- " mina per il fenomeno un asse „ (1).

L'energia dunque viaggia, non nel filo, ma attorno al filo; questo ne assorbe una parte ed è appunto quella che si trasforma in calore.

Allorchè le correnti alternate sono di grande frequenza (un gran numero di periodi per secondo), perchè il senso della corrente varia rapidamente, l'energia non ha tempo di penetrare nell'in-

---

(1) Discorso pronunciato da Galileo Ferraris alla R. Accademia dei Lincei, nell'adunanza solenne del 3 giugno 1894.

terno del conduttore ed i suoi effetti si limitano alla superfice. Questo fenomeno chiamato *skin-effect*, dagli inglesi, era conosciuto anche prima delle attuali teorie, e nelle correnti alternate a grande frequenza, si può benissimo sostituire ad un conduttore pieno un conduttore di ugual diametro vuoto.

Nicola Testa, nel fare esperimenti con correnti alternate ad altissimi potenziali ed a grande frequenza constatò, casualmente, che potevansi far passare pel corpo tali scariche senza risentirne effetto alcuno.

In questo caso era appunto la grande frequenza che produceva lo *skin-effect* pel quale tutta l'elettricità passa sulla superfice d'aria a contatto del corpo invece di passare per questo, come sarebbe avvenuto nel caso di frequenza ordinaria. Il paragone che noi abbiamo fatto sul principio di questi cenni fra corrente elettrica e corrente di liquido entro un tubo, sta solo in quanto che in entrambi i casi si ha un trasporto di energia, ottenuto per mezzo di uno spostamento, di masse elettriche nel primo caso, di masse materiali nel secondo. Ma affatto diverso è il meccanismo col quale nei due casi si effettua il trasporto dell'energia. Di fatto, nella corrente di liquido, l'energia viaggia all'interno dei tubi trasportata come forza viva delle masse fluide, nella corrente elettrica invece l'energia viaggia all'esterno del conduttore.

Che la trasmissione dell'energia elettrica si faccia realmente nel dielettrico e non nel conduttore si presenta anche naturale senza ricorrere ad astrazioni scientifiche. Supponiamo di avere (Tav. X, fig. 87) un alternatore monofase A riunito al primario di un trasformatore T ed un motore monofase M riunito al secondario dello stesso trasformatore. Se A produce una corrente alternata noi potremo mettere in movimento il motore M, vi è quindi una trasmissione d'energia fra A ed M. Se la trasmissione d'energia si effettuasse attraverso i conduttori, sarebbe necessario che fra A ed M il conduttore non fosse in alcun punto interrotto. Invece esso è interrotto in diversi punti, ma dove l'interruzione si scorge meglio è nel trasformatore. I due circuiti I° e II° sono affatto indipendenti l'uno dall'altro, ed essendo formati dal filo isolato (cioè circondato da dielettrico) non hanno nessuna comunicazione metallica col nucleo di ferro. Fra

A ed *M* vi è quindi soluzione di continuità nel conduttore e l'energia passa da *A* ad *M*.

Supponiamo invece (Tav. X, fig. 88) di avere due camere *C* e *D* completamente foderate di conduttore, p. es., rame. Nella camera *C* mettiamo l'alternatore *A*, nella camera *D* il motore *M*.

Ci sarà assolutamente impossibile far passare da *A* ad *M* dell'energia elettrica finchè non apriremo nelle camere *C* e *D* due piccole finestrine per le quali l'energia possa passare, e queste finestrine saranno aperte all'energia solo quando siano chiuse da materia isolante, come le finestre della casa sono aperte alla luce quando sono chiuse solamente dai vetri. Per cui in questo caso, finchè vi è soluzione di continuità del dielettrico fra *A* e *M* l'energia non passa.

Dal complesso delle teorie e delle considerazioni ora accennate siamo portati a ritenere che le radiazioni, siano luminose, o siano termiche, o siano elettromagnetiche, si propaghino nell'etere.

" Il mezzo che trasmette l'energia dall'albero di una ruota " idraulica a quello di un motore lontano, o dal focolare di una " motrice a vapore alle punte dei carboni fra le quali brilla " l'arco voltaico od ai fili di carbone splendenti nei palloncini " delle lampade ad incandescenza, è quello medesimo, attraverso " al quale, e per opera del quale, viene dal Sole a noi pressochè " tutta l'energia di cui disponiamo su questa terra " (1).

Correnti alternate, oscillazioni hertziane e radiazioni termiche e luminose non sono in sostanza che forme diverse di uno stesso fenomeno; la differenza sta essenzialmente nella frequenza (numero d'oscillazioni al secondo).

Finchè la frequenza è piccola le correnti si trasmettono come le correnti continue, penetrando ugualmente tutto il conduttore, ma se la frequenza aumenta grandemente, le correnti non riescono ad interessare che la superfice del conduttore, e se si potesse giungere alla frequenza di valore uguale a quella del calore raggiante e della luce, tali correnti non potrebbero neppur

(1) Discorso pronunciato da Galileo Ferraris alla R. Accademia dei Lincei, nell'adunanza solenne del 3 giugno 1894.

più guidarsi coi conduttori, ma si dovrebbe guidare con mezzi ottici, specchi, lenti, prismi, ecc. Se noi potessimo ottenere oscillazioni hertziane con una frequenza uguale a quella della luce, noi avremmo direttamente la luce, senza passare perciò per l'intermediario del calore, come attualmente siamo costretti a fare.

Il cammino non è certamente breve, poichè le lunghezze d'onda della luce sono comprese fra 0,2 e 0,7 millesimi di millimetro, mentre le più piccole lunghezze d'onda ottenute da Hertz furono, come si disse, di 30 cm.

Questo nuovo aspetto sotto il quale si presentano i fenomeni elettrici al giorno d'oggi, può essere fecondo di pratiche applicazioni. Una delle applicazioni che salta più all'occhio, anche dei profani, è quella della trasmissione a distanza dell'energia elettrica senza fili, ed una prima applicazione pratica di tale trasmissione ci viene appunto data dal telegrafo senza fili.

La telegrafia senza fili. — Quest'ultimo portato della moderna elettrotecnica, al quale va indissolubilmente legato il nome del nostro Guglielmo Marconi, si fonda precisamente sulle teorie di Maxwell e sulle esperienze di Hertz.

L'oscillatore ed il risuonatore di Hertz sono appunto l'embrione di un sistema di telegrafo senza fili, l'oscillatore funzionando da apparecchio trasmettitore e il risuonatore da apparecchio ricevente. Abbiamo visto che la corrente secondaria del rocchetto genera nell'oscillatore delle oscillazioni elettromagnetiche le quali, a loro volta, ed a distanza, producono delle piccole scintille nel risuonatore. Ora si comprende come lasciando passare pel secondario del rocchetto una corrente più o meno lunga si venga ad ottenere nel risuonatore uno scoccare di scintille per un tempo più o meno lungo e come ciò possa servire per trasmettere un telegramma qualsiasi. Ma Hertz riuscì col suo sistema a far agire il risuonatore solo a piccolissime distanze dall'oscillatore; merito dunque del Marconi, assoluto ed incontestabile, aver reso l'apparecchio veramente pratico ed idoneo ad una reale telegrafia.

Si trattava prima di tutto di rendere l'oscillatore atto ad irradiare onde elettriche di grande potenza ed a distanze enor-

mente maggiori di quelle raggiunte dall' Hertz, ed il Marconi questo ottenne col modificare opportunamente l'oscillatore hertziano e producendo onde elettriche di lunghezza centinaia di volte maggiori di quelle usate da Hertz.

L'oscillatore trasmettitore ideato dal Marconi per ottenere questo scopo ha (Tav. X, fig. 89) una sfera posta a contatto della terra e l'altra unita ad un filo metallico verticale *A*; *R* rappresenta il rocchetto, *P* una batteria di pile o di accumulatori e *B* il tasto di trasmissione. Abbassando per un tempo più o meno lungo il tasto *B* possono essere emesse serie più o meno lunghe di impulsi o di onde elettriche, le quali, se trovano entro le rispettive sfere d'azione un apparecchio ricevitore da esse influenzabile, fanno su di questo risentire in modo più o meno lungo, il loro effetto.

L'apparecchio ricevitore presenta il suo organo principale nel così detto *coherer*. È questo un tubetto di vetro *T* (Tav. X, fig. 90), nel quale penetrano due asticciuole metalliche *A* e *B*, terminanti con due cilindretti *A'* e *B'*. Fra i due cilindretti *A'* e *B'* vi sono delle polverine metalliche speciali. Questo *coherer* è sensibile alle oscillazioni elettriche (e viene chiamato perciò anche occhio elettrico). Normalmente, se noi uniamo i due poli di una pila *P* alle asticciuole metalliche *A* e *B*, la resistenza elettrica del tubetto è talmente grande che nessuna corrente passa, come se la pila avesse il circuito aperto. Ma se il tubetto è sotto l'influenza di onde elettriche, esso diventa conduttore ed allora passa la corrente della pila; per renderlo nuovamente non conduttore basta scuotere il tubetto. Il ricevitore Marconi, nella sua più semplice espressione è costituito (Tav. X, fig. 91) da un *coherer T*, di cui una estremità è unita ad un lungo filo metallico verticale e l'altra va a terra. Il *coherer* è poi unito con due fili *C*, *C'* alle pile ed all'apparecchio ricevente. Allorchè nel campo in cui trovasi il ricevitore avvengono delle oscillazioni elettriche il *coherer* diventa conduttore e la corrente della pila può passare; tale corrente mette in moto l'apparecchio Morse ed un martelletto che colpisce il *coherer* per togliergli la conduttività.

Ma non bastava trasmettere e riconoscere delle onde elettromagnetiche a distanza, occorreva, come disse lo stesso Marconi

nella sua conferenza sulla telegrafia senza fili tenuta in Roma, il 7 maggio di quest'anno, nell'aula massima del Campidoglio, risolvere i seguenti problemi:

1° Ottenere l'indipendenza di comunicazione fra varie stazioni vicine;

2° Ottenere la possibilità di trasmettere telegrammi a qualunque distanza;

3° Ottenere che terre e monti frapposti fra due stazioni non riuscissero d'ostacolo alle comunicazioni radiotelegrafiche.

Questi tre problemi il Marconi risolse splendidamente e contemporaneamente, col suo ingegno e colla sua invincibile costanza, agendo simultaneamente sul trasmettitore e sul ricevitore.

Affinchè stazioni vicine non venissero ad essere perturbate l'una dall'altra, e perchè le stazioni riceventi potessero solo essere impressionate da telegrammi ad esse diretti, era necessario far sì che ogni stazione ricevente venisse ad essere perfettamente accordata colla corrispondente stazione trasmettente. Questo accordo detto *sintonia*, e perciò *stazioni sintoniche* il gruppo costituito da una stazione trasmettente e da una ricevente, venne ottenuto dal Marconi stabilendo stazioni trasmettenti capaci di emettere determinate lunghezze di onde elettriche collegate con stazioni riceventi capaci di vibrare solo sotto l'impulso di tali determinate lunghezze d'onda. Non è qui il caso di indagare come Egli riuscì ad ottenere tale risultato, a noi basterà vedere con un esempio come tale risultato sia consono alle leggi che regolano la trasmissione delle oscillazioni elastiche. Tutti conosciamo il *diapason*, strumento costituito da una verghetta d'acciaio ripiegata ad *U* e che fatta vibrare emette una nota, ed una sola, dipendente dal numero delle sue vibrazioni. Possiamo quindi avere dei *diapason* che ci diano il *do*, il *re*, il *mi*, ecc.

Se in una camera nella quale vi sia un pianoforte, noi disponiamo, a conveniente distanza dal pianoforte, p. es., sette diapason che ci diano le sette note fondamentali, e se noi, mediante il piano facciamo echeggiare nella stanza, p. es., il *do*, nessuno dei diapason si metterà in vibrazione ad eccezione di quello capace di dare questa nota. Perchè uno dei diapason si

metta in vibrazione è necessario che l'aria sia fatta vibrare dalla nota corrispondente.

La stessa cosa avviene nelle *stazioni sintoniche radiotelegrafiche*. Ma vi ha di più; se noi dal pianoforte ricaviamo contemporaneamente due note, p. es., il *do* ed il *la*, due diapason e precisamente quelli che dànno queste note si metteranno in vibrazione. E così una stazione sintonica trasmettente può emettere contemporaneamente onde elettriche di diversa lunghezza e corrispondere con varie stazioni riceventi intonate alle diverse lunghezze d'onda. La sintonia serve ad assicurare la indipendenza delle varie stazioni ed in certo modo anche il segreto delle comunicazioni radiotelegrafiche. Il Marconi, nella sopracitata conferenza, dopo aver descritto i metodi da lui usati per ottenere la sintonia disse: " Ma nell'affermare l'efficacia di " questo sistema di sintonia, non voglio dire che non sia pos- " sibile, sotto certe circostanze, che una persona esperta riesca " a ricevere, mediante intelligenti tentativi, in una data sta- " zione, un dispaccio trasmesso fra altre due stazioni fra loro " comunicanti ".

Per riuscire a ciò è necessario, per tentativi appunto, riconoscere quale è la lunghezza d'onda trasmettente. Questo fatto, che in tempi normali può avere uno scarso interesse, giacchè, qualora si voglia avere un segreto assoluto, sarà sempre possibile corrispondere in linguaggio convenzionale, può assumere in tempo di guerra una certa importanza. Una nave nemica che venga a scoprire il grado di sintonia, p. es., fra la stazione trasmettente di Monte Mario e la ricevente di Cagliari, potrà, se non comprendere i radiotelegrammi che fra queste due stazioni si trasmettono, emettere delle onde, sintonizzate colla stazione ricevente di Cagliari, in modo da inceppare e forse impedire il funzionamento dell'apparecchio ricevente ivi stabilito, trasmettendovi segnali a casaccio. Anche questo pericolo non è difficile ad evitare, sia collo stabilire una diversa sintonia in tempo di guerra ed in tempo di pace, sia accordando le due stazioni in modo che possano variare simultaneamente, e ad un dato segnale, la sintonia reciproca; ma, ripeto, quantunque il pericolo non sia grave, è bene prevederlo e provvedervi.

Il problema della trasmissione a grande distanza venne ri-

solto dal Marconi sia col sistema della sintonia, sia elevando la potenza delle stazioni trasmittenti e la sensibilità degli apparecchi riceventi.

Come già dissi, il Marconi non cercò di produrre onde elettriche molto corte come l'Hertz, ma cercò invece di produrre onde piuttosto lunghe, le quali sembra conservino la loro forza a più grandi distanze, nello stesso modo come le onde sonore lunghe, producenti suoni bassi, giungono a distanze maggiori delle onde sonore corte, producenti suoni acuti.

Per rendere l'apparecchio ricevente più sensibile e più sicuro Marconi abbandonò il *coherer* sostituendolo con un apparecchio, di sua invenzione, chiamato *detector magnetico*, basato sugli effetti esercitati dalle oscillazioni elettriche su corpi magnetici quando questi sono sottoposti ad una forza magnetica variabile. Questo apparecchio, molto più sensibile e di funzionamento molto più esatto del *coherer*, in unione alle stazioni di trasmissione sintoniche ultrapotenti gli permisero di ottenere i meravigliosi risultati che noi tutti conosciamo.

Che cosa ci prepara l'avvenire dell'elettrotecnica. — Non è certo facile il dirlo nè prudente fare pronostici, ogni giorno nuove scoperte tengono sveglia la nostra mente con risultati tanto meravigliosi quanto inaspettati. L'elettricità si avanza come una conquistatrice ardita in un paese già domato e nessuno può dire dove la sua marcia trionfale si arresterà.

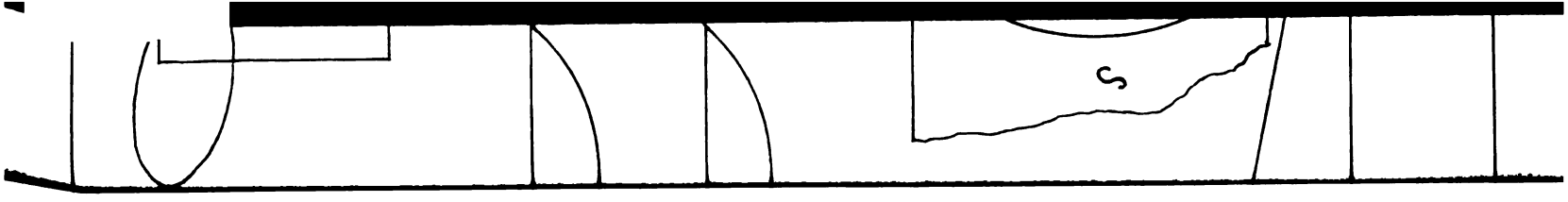
La teoria delle vibrazioni dell'etere tende a spiegare tutti i fenomeni fisici come derivati da un solo ed unico principio. Ma queste vibrazioni, che si propagano con una velocità di 300.000 Km. al 1″, noi sappiamo che possono avere lunghezze d'onda di una varietà infinita e che dalle lunghezze d'onda dipendono le apparenze dei fenomeni che colpiscono i nostri sensi.

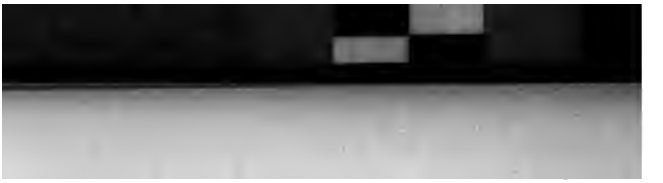
I nostri sensi sono poi ottusi alla maggior parte di queste diverse lunghezze d'onda, sì che occorrono istrumenti per rilevarne l'esistenza. Il nostro occhio, di cui andiamo così alteri, non ci rivela che le lunghezze d'onda comprese fra 0,2 e 0,7 millesimi di millimetro; un'altra porzione di onde ci si manifesta al tatto mediante la sensazione del calore; ma tutte le altre lunghezze d'onda quali fenomeni saranno capaci di produrre, quali fenomeni producono da noi inavvertiti?

Noi possiamo immaginarci le varietà di questi fenomeni pensando che la sola variazione di lunghezza d'onda da 0,2 a 0,7 millesimi di millimetro è sufficente a produrre in noi l'impressione di tutta la gamma dei colori. Fra i problemi che occupano ora la mente degli scienziati primeggia quello della trasmissione a distanza, e senza fili, dell'energia; ma questo non è il solo che un'alta mente possa affrontare. La trasformazione diretta dell'energia elettrica in luce mediante oscillazioni hertziane di frequenza uguale a quella della luce e, viceversa, la trasformazione della luce in energia elettrica mediante una trasformazione di frequenza delle onde luminose, sono anche problemi che forse il tempo e l'ingegno umano potranno risolvere.

Nella nostra rapida corsa attraverso il campo dell'elettrotecnica abbiamo visto come in pochi anni, in uno spazio di tempo molto inferiore alla media lunghezza della vita umana, essa si sia stabilita, ed abbia fatto passi giganteschi, mercè l'ingegno di uomini che hanno saputo strappare alla natura molti dei suoi più gelosi secreti, che hanno saputo scoprire, colla sola forza dell'intelletto, ciò che la natura aveva cercato tenere nascosto ai nostri sensi più nobili. E mentre nel campo dell'elettrotecnica, colla teoria delle oscillazioni elettro-magnetiche, si andava affermando l'unità della propagazione delle forze; mentre nel campo meccanico si andava affermando l'unità indistruttibile dell'energia e nel campo fisico-chimico l'unità indistruttibile della materia, vi fu chi lanciò l'asserzione della bancarotta della Scienza, perchè essa non giunge a spiegare. La scienza, che ci dimostra essere ogni nostro pensiero prodotto di una azione elettrochimica che forse si propaga per mezzo di onde elettromagnetiche, di una frequenza diversa da quella della luce, ma della stessa natura, non s'arroga il diritto di spiegare l'essenza delle cose. Essa si arresta rispettosa sulla soglia dell'Inarrivabile, muta ed attonita, non spiega, non nega: tace; conscia della sua infinita piccolezza dinanzi all'infinita grandezza dell'Universo.

Continuamente illusi dai nostri sensi, chè noi vediamo una foglia verde perchè essa assorbe tutte le vibrazioni luminose che non hanno una frequenza di 600.000 miliardi al 1″; continuamente ignari del senso del vicino, perchè non potremo mai sapere se il nostro vicino vede il verde come noi; continua-





INDICE

I.

Quantità e fenomeni elettrici.

II.

Produzione dell'energia elettrica.

III.

Trasformatori e convertitori.

2
H
C

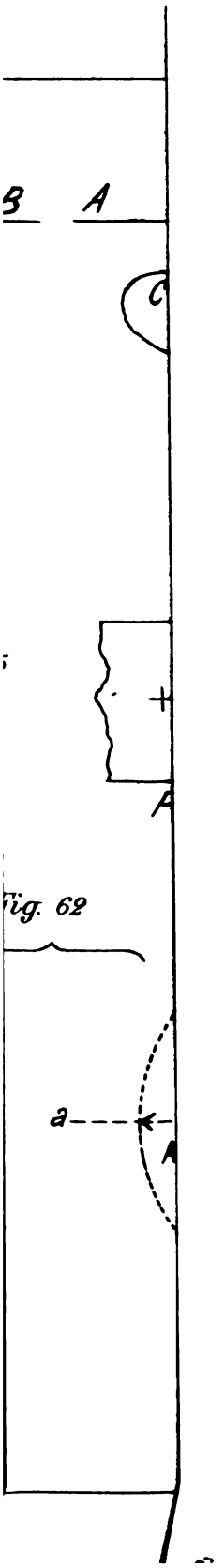


Fig. 62

B

P
D'
C''
S''
H

A
A
A
D
M
A

Pubblicazioni della stessa Casa Editrice:

INSEGNAMENTO TECNICO CON MODELLI SCOMPONIBILI

FUMERO Ing. F. E. — **La Macchina Dinamo-elettrica.** Come funziona e come è costruita. Descrizione popolare. 2ª ediz. riveduta e migliorata. Un vol. in-4°, con 44 fig. e grande tav. a colori scomponibile **Lire 4.**

— — **Il Motore elettrico.** Come funziona e come è costruito. Descrizione popolare. *(Esaurito. In stampa la nuova edizione.)*

— — **La Luce elettrica.** Come si produce e come si paga. Trattazione popolare. Un vol. in-4°, con 23 fig. e grande tavola a colori scomponibile . . **Lire 4.**

FERRERO Ing. Prof. M. — **La Locomotiva.** Come funziona e come è costruita. Descrizione popolare. Un volume in-4°, con 10 figure e grande tavola a colori scomponibile . . . . . **Lire 4.**

— — **Il Motore a gaz.** Come funziona e come è costruito. Un vol. in-4°, con 14 fig. e grande tavola a colori scomponibile . . . . . **Lire 4.**

MARCHESI Ing. E. — **L'Automobile.** Come funziona e come è costruito. Cenni storici e descrizione popolare. Un vol. in-4°, con 32 fig. e grande tavola a colori scomponibile . . . . . **Lire 5.**

FORNARI Ing. U. — **La Macchina a vapore.** Modello di motrice fissa con distribuzione a cassetto e meccanismo d'espansione *Meyer*. Un vol. in-4°, con tavole scomponibili e 14 fig. nel testo . . . **Lire 4.**

— — **Il Telefono.** Descrizione elementare di una Posta telefonica, con cenni intorno alla teoria ed alla storia del Telefono. Un vol. in-4°, con tavole scomponibili e figure nel testo . . . . . **Lire 4.**

Prezzo del presente volume: Lire Tre.

Pubblicazioni della stessa Casa Editrice:

TOZZI E BAZAN
Capitani d'Artiglieria

L'ARTIGLIERIA
NELLA
GUERRA CAMPALE

Un vol. in-8°, di 420 pagine — Lire **Cinque.**

CARMINE SIRACUSA
Capitano d'Artiglieria

GUERRA DI NOTTE

Un vol. in-12°, di 176 pagine, con 4 tavole — Lire **Una.**

ING. ELIA OVAZZA
Prof. nella R. Scuola d'Appl. per gli Ingegneri di Palermo

URTI ED ESPLOSIONI

Lezioni di Dinamica Applicata

Un vol. in-8°, di 156 pagine, con 70 figure — Lire **Cinque.**

ING. PROF. MICHELE FERRERO

LE MACCHINE A VAPORE E LE CALDAIE

Volume I — **Le Macchine a vapore**

Un vol. in-4°, di 260 pag., con 76 tavole rappresentanti 343 fig. — Lire **20.**

Volume II — **Le Caldaie**

Un vol. in-4°, di 140 pag., con 42 tavole rappresentanti 228 fig. — Lire **15.**